

**ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN SUELOS
CAOLÍNICOS USANDO EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO Y UN EQUIPO DE ALTA
CONFIABILIDAD.**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

ELABORADO POR:

LUIS GIOVANNI SARMIENTO ÁVILA CÓDIGO: 504955
GLORIA GUTIÉRREZ CALA CÓDIGO: 504713

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2018

**ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN SUELOS
CAOLÍNICOS USANDO EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO Y UN EQUIPO DE ALTA
CONFIABILIDAD.**

ELABORADO POR:

**LUIS GIOVANNI SARMIENTO ÁVILA CÓDIGO: 504955
GLORIA GUTIÉRREZ CALA CÓDIGO: 504713**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

DIRECTOR:

**PhD. JUAN CARLOS RUGE CÁRDENAS.
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2018**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

Me faltan palabras para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de esta carrera.

Asimismo, agradezco infinitamente a mi mamita hermosa que con sus bendiciones y oraciones me brinda todas las fuerzas suficientes para seguir adelante, a mi papá, hermanos, hermanas, sobrinos y sobrinas que con sus palabras me hacen sentir orgullosa de lo que soy y de lo que puedo lograr.

De igual forma, agradezco a mi Director de Tesis, Juan Carlos Ruge Cárdenas; con sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los Profesores que me han visto crecer como persona, y que gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichosa y feliz.

También quiero dar infinitas gracias a la empresa Instore Colombia SAS, a mis jefes y compañeros de trabajo, por toda la paciencia y ayuda que me brindaron para culminar esta hermosa carrera.

Gloria Gutiérrez Cala

Agradezco a Dios por acompañarme en el largo camino, por otorgarme paciencia y tolerancia.

Asimismo, agradezco infinitamente a mi familia por constante apoyo, paciencia y recursos invertidos en esta culminación de carrera.

De igual forma, agradezco a mi Director de Tesis, Juan Carlos Ruge Cárdenas; con sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los Profesores que me han visto crecer como persona, y que gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.

Giovanni Sarmiento.

Nota de Aceptación:

El trabajo de grado titulado **“Análisis de la distribución del tamaño de partículas en suelos caolínicos, usando el método del hidrómetro y un equipo de alta confiabilidad”**. Presentado por los estudiantes Gloria Gutiérrez Cala y Luis Giovanni Sarmiento Ávila. Cumpliendo el requisito para optar al título de pregrado “Ingeniería Civil” Fue aprobada por el director Juan Carlos Ruge Cárdenas.

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. noviembre 20 de 2018

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.	13
1. INTRODUCCIÓN.	14
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.	16
2.1. Antecedentes.	16
2.2. Justificación.	17
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
4. MARCO DE REFERENCIA.	20
4.1. Marco teórico.	20
4.2. Marco conceptual.	22
5. OBJETIVOS	25
5.1. Objetivo general.....	25
5.2. Objetivos específicos.....	25
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	26
6.1. Alcances:.....	26
6.2. Limitaciones:	26
7. METODOLOGÍA.....	27
7.2. Análisis de granulometría por hidrometría.	29
7.2.1. Ensayo por equipo hidrómetro 152 h.	29
7.2.2. Preparación de la muestra.	30
7.2.3. Procedimiento.	31
8. ANALISIS DE RESULTADOS.....	45
9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	59
10. CONCLUSIONES.	61
11. RECOMENDACIONES.	62
12. BIBLIOGRAFÍA.....	63

13. FIRMAS DE LOS ESTUDIANTES.....	65
14. FIRMA DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO.....	66
15. ANEXOS.	67

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1: Porcentaje en peso del mineral.....	30
Tabla 2: Análisis de minerales	31
Tabla 3: Datos de la muestra a ensayar	32
Tabla 4: Pesos de la muestra.....	32
Tabla 5: Foto lecturas con hidrómetro.....	34
Tabla 6: corrección por menisco ensayo 1.....	35
Tabla 7: Valores de profundidad efectiva	36
Tabla 8: Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas.	37
Tabla 9: cálculo del diámetro de las partículas en mm ensayó 1,.....	37
Tabla 10: valores de correlación por gravedad específica	38
Tabla 11: Toma de datos para curva granulométrica ensayo	38
Tabla 12: Clasificación de finos según su diámetro.	39
Tabla 13: Datos de la muestra a ensayar.	45
Tabla 14: Pesos de la muestra.....	45
Tabla 15: Resultados de la muestra de caolín blanco	45
Tabla 16: gravedad específica y correcciones de las medidas.	46
Tabla 17: Clasificación de la muestra	46
Tabla 18: Datos de la muestra a ensayar.	46
Tabla 19: Mediciones de la muestra.	47
Tabla 20: Tiempo - Presión observada – Presión Simulada – presión -Peso.....	52
Tabla 21: Distribución de tamaño de partícula acumulada.	55
Tabla 22: Ensayo N°1 Hidrómetro Convencional.	67
Tabla 23: Ensayo N°2 Hidrómetro Convencional.	68
Tabla 24: Ensayo 3.....	69

Tabla 25: Ensayo N°4 Hidrómetro Convencional.	70
Tabla 26: Ensayo N°5 Hidrómetro Convencional.	71
Tabla 27: Tiempo - Presión observada – Presión Simulada – presión -Peso.....	72

LISTA DE IMÁGENES.

Imagen 1: Foto de hidrómetro.	21
Imagen 2: Foto de equipo pario.	21
Imagen 3: Equipo Pario.	27
Imagen 4: Montaje equipo Pario.	27
Imagen 5: Sensor de Medición.	28
Imagen 6: Eje de medición.	28
Imagen 7: Cabeza de medición.	28
Imagen 8: Foto de muestra de suelo caolín blanco.	31
Imagen 9: Foto de muestra de suelo.	32
Imagen 10: Foto de menisco.	33
Imagen 11: Foto lecturas con hidrómetro.	34
Imagen 12: Peso de la muestra de Caolín blanco.	41
Imagen 13: Cilindro de Medición 1000 ml.	42
Imagen 14: Ensayo finalizado.	43
Imagen 15: Medición de lecturas.	43
Imagen 16: Montaje Ensayo.	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: curva granulométrica ensayo	39
Gráfico 2: Curva granulométrica de un suelo areno-limoso.	40
Gráfico 3: Representación del diámetro vs % que pasa.....	46
Gráfico 4: Presión – Tiempo de ejecución – Temperatura.....	51
Gráfico 5: Presión – Temperatura	51
Gráfico 6: Presión Observada – Presión Simulada Vs Presión	55
Gráfico 7: Distribución de tamaño de partícula acumulada	56
Gráfico 8: Porcentaje que pasa% Vs diámetro en (mm)	56
Gráfico 9: Distribución de la muestra	57
Gráfico 10: Pario vs hidrómetro 502h.....	57
Gráfico 11: Pario vs Hidrómetro, compilado.....	58

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ley de Stokes.	29
Ecuación 2: Humedad.....	31
Ecuación 3: Corrección del punto cero.	33
Ecuación 4: corrección de lectura del hidrómetro.....	35
Ecuación 5: Diámetro de partícula.	35

RESUMEN.

El trabajo de investigación presenta los análisis y ensayos realizados al material caolín Blanco, mostrando la variación que se encuentra, con los ensayos de laboratorio realizados por el hidrómetro convencional versus el equipo pario, con el fin de que este ensayo pueda ser complementado a los laboratorios realizados a los suelos, para la determinación del comportamiento de la curva granulométrica del material analizado.

Se realizó la adquisición de un equipo altamente sofisticado, el cual aún no es implementado en ninguna otra universidad del país. Ya que su diseño fue desarrollado en el año 2017 en Estados Unidos. Se realizaron 5 ensayos con el equipo pario y 5 ensayos con el hidrómetro convencional, se analizó una muestra de caolín blanco y se investigaron las características físicas que contiene el caolín.

Este ensayo permite establecer parámetros a analizar y que condiciones normalmente presenta para los procesos en los cuales se utiliza este tipo de material. Las muestras se analizaron bajo condiciones de laboratorio, en donde los escenarios del lugar cuentan con control de temperatura y humedad relativa constante, lo que nos permitió tener resultados con condiciones idóneas con menor margen de error.

Se realizó el enfrentamiento entre los ensayos realizados al caolín blanco por los dos métodos. El cual nos permite definir criterios de desigualdad respecto a los resultados obtenidos. Donde se evidencia la precisión que tiene el equipo pario versus el hidrómetro convencional.

Finalmente se entregan resultados y procedimientos definidos para la ejecución de los ensayos, realizando los análisis pertinentes de forma individual, por método pario y por hidrómetro convencional, precisando las linealidades más viables para poder realizar un análisis más profundo y llegar a implementar nuevos laboratorios a la rama de suelos en la Universidad Católica De Colombia.

Palabras clave: Caolín Blanco, Pario, Hidrómetro, Granulometría.

1. INTRODUCCIÓN.

En la ingeniería civil, los suelos expansivos suelen presentar problemas para diferentes tipos de estructuras que se soportan encima de estos, por ello hay diferentes pruebas que se deben realizar al suelo antes de efectuar cualquier diseño o construcción en el sitio, es necesaria hacer una caracterización precisa para realizar una correcta estabilización del terreno. En los suelos sus principales propiedades son la distribución del tamaño de las partículas con esto determinamos las fracciones finas utilizando métodos de sedimentación¹.

La clasificación de los suelos se da por el tamaño de la partícula y uno de los métodos más confiables es la granulometría que es una práctica para medir porcentualmente las fracciones de los suelos por medio del tamizado para el grano grueso, el hidrómetro y la pipeta para el grano fino².

El método más frecuente para el grano fino es el hidrómetro Según Gee y Bauder (1986) **“el análisis de las partículas del suelo por el método del hidrómetro se basa en la relación que existe entre la velocidad de deposición y el diámetro de la partícula de suelo, es fácil de implementar y permite obtener mediciones rápidas y confiables”**³. Se debe trabajar con material fino que pase del tamiz 200, para obtener la curva granulométrica que es el porcentaje del suelo con respecto a su diámetro.

El método pario se basa en la ley de Stokes como el hidrómetro, según Álvaro Ignacio Cobos en su libro Mecánica de suelos lo describe **“esferas cayendo en un fluido que relaciona la velocidad terminal de caída de la esfera con las densidades de la esfera y del fluido y la viscosidad. La velocidad terminal del grano de suelo se calcula dividiendo la distancia corregida del centro del volumen del hidrómetro a la superficie del agua por el tiempo transcurrido desde que inicia el ensayo.”**²¹ El ensayo pario no se necesita hacer correcciones, además el tiempo para analizar las partículas es menor comparado con el hidrómetro, que necesita tomar mediciones continuas durante 24 horas, esto nos arroja una curva más precisa

¹ Tinoco, Antonio Mosquera. Identificación de Arcillas Expansivas. *Identificación de Arcillas Expansivas*. Mexico : s.n., diciembre de 1986.

² Diaz, Wilmar Andres Botia. Manual De Procedimientos de Ensayos De Suelos Y Memoria De Calculo . *trabajo de grado*. Bogota : s.n., 2015.

³ Gee, G. W. y Bauder, J. W. Methods of Soil analysis: Physical and minerological methods. *Methods of Soil analysis: Physical and minerological methods*. Madison : American Society of Agronomy., 1986.

²¹Torres, Alvaro Ignacio Covo. *Mecánica de Suelos*. cartagena : universidad de cartagena, 2004.

de la distribución del tamaño de la partícula⁴.

⁴ **manual, PARIO user.** PARIO user manual. *PARIO user manual*. [En línea] 06 de 2017. [Citado el: 19 de 03 de 2018.] <https://geomor.com.pl/wp-content/uploads/2017/09/PARIO-Manual.pdf>.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

2.1. Antecedentes.

La necesidad de saber el comportamiento de los suelos ha llevado a desarrollar diferentes métodos de toma de información, aquellos que proporcionan datos de confiabilidad son los hidrómetros, la pipeta y entre otros. Ya que son un conjunto de elementos destinados a medir y examinar el diámetro de la partícula y la velocidad de deposición⁵.

(2016) Los estudiantes **Alexandra Carolina Sierra Sosa y Kelly Johanna Escudero Eguis** de la **Universidad Católica De Colombia**, realizaron un trabajo de investigación el cual estaba enfocado en la “DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIVIDAD EN SUELOS CAOLINITICOS MODIFICADOS CON SALES DE POTASIO Y CALCIO”⁶.

Este proyecto se elaboró para la investigación de profundizar en el tema de la dispersividad mediante un marco referencial que brinde algunos conceptos básicos sobre las arcillas dispersivas, además se busca mediante el desarrollo de ensayos como el Ensayo de Pinhole basado en la Norma ASTM D 4647-93 y Norma USBR 5410-90, el Ensayo de Crumb basado en la Norma USBR 5400-89 y el Ensayo de Doble Hidrómetro basado en la Norma ASTM D 4221-90, aplicarlos como herramientas para evaluar la dispersividad de las arcillas utilizando el Cloruro de Sodio y el Cloruro de Potasio como sales que intervienen en el desarrollo de estos ensayos que ayudan a determinar si la arcilla es o no dispersiva

(2017) Los estudiantes **Breidy Julieth Parrado Morena y Julieth Tatiana Toloza Calderón** de la **Universidad Católica De Colombia**, realizaron un trabajo de investigación para realizar la “DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA EN SUELOS CAOLINÍTICOS Y BENTONÍTICOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE ADSORCIÓN DE AGUA DESTILADA APLICANDO DIFERENTES GRADIENTES TÉRMICOS”⁷.

Este proyecto se realizó con el fin de comprobar experimentalmente si estas dos arcillas de origen industrial se caracterizan como arcillas altamente resistentes para uso ingenieril, teniendo en cuenta resultados de ensayos en laboratorio a variación de gradientes térmicos.

(2017) Los estudiantes **Cristhian Geovanny Barbosa Basto. y Stid Anderson Romero Cajamarca.** de la **Universidad Católica De Colombia**, realizaron el desarrollo de la “DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECIFICA EN SUELOS CAOLINITICOS Y BENTONITICOS

⁵ caminos.udc.es. Arcillas. Documento.

⁶ Eguis, Alexandra Carolina Sierra Sosa y Kelly Johanna Escudero. DETERMINACION DEL GRADO DE DISPERSIVIDAD EN SUELOS CAOLINITICOS MODIFICADOS CON SALES DE POTASIO Y CALCIO. Proyecto de grado. Bogota : s.n., 2016.

⁷ Calderon, Breidy Julieth Parrado morera y Julieth Tatiana Toloza. DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA EN SUELOS CAOLINÍTICOS Y BENTONÍTICOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE ADSORCIÓN DE AGUA DESTILADA APLICANDO DIFERENTES GRADIENTES TÉRMICOS. poroyecto de grado. Bogota : s.n., 2017.

MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO APLICANDO DIFERENTES GRADIENTES TÉRMICOS”⁸.

En el desarrollo de este proyecto se interpretaron los resultados obtenidos en los ensayos usados para la determinación de superficie específica en suelos arcillosos (caolinita y bentonita) mediante el ensayo de “adsorción de azul de metileno”, los procesos térmicos a los que se sometieron las arcillas fueron: 14,100,200, y 250 (°C), durante uno y siete días.

(2018) Los estudiantes **Brahayan Steven Fajardo Rodríguez. y Laura Carolina Laverde Espitia.** De la **Universidad Católica De Colombia**, realizaron el desarrollo de la “SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DE LA HUMEDAD GRAVIMÉTRICA EN SUELOS BENTONÍTICOS Y CAOLINÍTICOS”⁹.

Esta investigación pretende generar un sistema de medición rápida de humedad volumétrica, orientado inicialmente para suelos bentónicos y caoliníticos. Incluye una caracterización de materiales, diseño y construcción del sistema electrónico de medición, así como una calibración del sensor utilizado, mediante una comparación usando técnicas tradicionales y aceptadas de la obtención de la humedad.

2.2. Justificación.

Al realizar la implementación del equipo pario, lo que se busco fue mostrar su uso y aplicación en la ingeniería, relacionando así ventajas y desventajas importantes en el campo de los suelos, hasta el momento la universidad cuenta con un hidrómetro y una pipeta entre otros. Se realizó la adquisición de un equipo automatizado con una visión amplia y general acerca de los fenómenos relacionados con las partículas de los suelos, que permite determinar y analizar la curva granulométrica de una manera más sencilla y rápida.

Con nueva implementación del equipo pario, podemos proporcionar información importante sobre una toma de datos que ofrece ventajas reales como la optimización de tiempo, dinero y esfuerzo, así mismo su versatilidad para ser utilizado directamente en el laboratorio.

La importancia de poder estudiar y analizar las partículas de los suelos es una necesidad primordial para la ingeniería civil.

Respecto a este tema existen notables diferencias entre un equipo y el otro. La operación de análisis de tamaño de partícula convencional requiere mucho tiempo y energía. Las lecturas o muestreos deben hacerse a mano, con intervalos regulares hasta por 24 horas. Esto debido a

⁸ **Barbosa Basto, Cristhian Geovanny.** Determinación de la superficie específica en suelos caoliníticos y bentoníticos mediante la aplicación de adsorción de azul de metileno aplicando diferentes gradientes térmicos. *Proyecto de grado*. Bogota : s.n., 2017.

⁹ **Fajardo Rodríguez, Brahayan Steven.** Sistema para la medición de la humedad gravimétrica en suelos bentoníticos y caoliníticos. *Proyecto de grado*. Bogota : s.n., 2018.

que el procedimiento es manual, puede estar propenso a errores, los que llevar a perder tiempo y esfuerzo.

Con este nuevo equipo se quiere brindar las herramientas y servicios que les pueda permitir a los estudiantes de Ingeniería Civil obtener resultados precisos y enfocarse en su investigación. Y puedan reducir tiempo, esfuerzo en el análisis de tamaño de las partículas del suelo¹⁰.

¹⁰ **METER Environment.** Automated Particle Size Analysis . *Automated Particle Size Analysis* . [En línea] 2017. [Citado el: 25 de 03 de 2018.] <https://www.metergroup.com/environment/products/pario/>.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

3.1. Planteamiento del Problema.

La Universidad católica cuenta con equipos de medición de partículas del suelo como el hidrómetro y la pipeta con el cual se puedan realizar laboratorios donde se toman muestras para los análisis correspondientes, pero se necesita un equipo de una caracterización precisa y que tome un menor tiempo.

Se realizó la implementación de un equipo de alta confiabilidad, para garantizar a los estudiantes de ingeniería Civil una mayor comprensión y rapidez al momento de la toma de datos, además de una actualización y globalización de la universidad con respecto a la evolución de equipos a nivel mundial.

Al tener un equipo para la distribución del tamaño de las partículas en los suelos, se tendrá una caracterización precisa y se optimizara la curva granulométrica, se hace posible la investigación de los suelos caolínicos que son arcillas expansivas.

3.2. Formulación del problema.

Teniendo en cuenta la importancia del estudio de las partículas en granulometría, se logra analizar que el método con el nuevo equipo automatizado tiene un menor margen de error. Como se logra evidenciar en el análisis de resultados, al realizar la comparación de los datos se evidencia que la curva granulométrica de los ensayos por el método pario tiene una mayor precisión. Esto debido a que las mediciones con el nuevo equipo son cada 10 segundos, a comparación del hidrómetro que este tiene un tiempo de medición cada 60 segundos.

Por lo mencionado anteriormente, con el desarrollo de este proyecto se busca mostrar una nueva alternativa, que se está implementado en otros países, para el control y mayor precisión de la curva granulométrica.

Realizando un nuevo procedimiento que permita tener un menor margen de error en la toma de datos y así contar con un análisis más acertado. Reduciendo la necesidad de la manipulación humana y así poder evitar errores.

Al implementar este método para el análisis de la curva granulométrica, es importante tener en cuenta que este tipo de ensayos y pruebas deben ser manipulados por personal capacitado, esto con el fin de dar una mayor interpretación y usos en los resultados arrojados por el sistema.

Finalmente se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Se hace necesario el análisis de la distribución del tamaño de partículas en suelos caolínicos usando el método del hidrómetro y un equipo de alta confiabilidad?

4. MARCO DE REFERENCIA.

4.1. Marco teórico.

En la historia de los suelos se han analizados diferentes tipos de ellos y los factores que afectan la estabilidad de las estructuras, La ciencia que estudia los comportamientos, propiedades físicas y mecánicas de este se denomina Mecánica de Suelos que según el ingeniero americano Karl Von Terzagui la define como **“la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de la ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de las partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de material orgánico”**¹¹. El ingeniero no solamente se basa en una mecánica de suelos sino, también en estudios geológicos y los antecedentes que ellos presenten para estudiar las diferentes soluciones y alternativas a presentar.

Los orígenes de los suelos son las rocas que sufren un proceso físico químico, que se dan por los cambios de temperatura, fatiga, y desgaste, la definición de Martin Nieto en su libro mecánica de suelos es **“Las arenas, gravas y ciertos limos inorgánicos son originados por fenómenos físicos, algunos limos y, en general todos los suelos arcillosos, son originados generalmente por la meteorización química de los minerales de la roca.”**¹²(Martin nieto Luis, mecánica de suelo)

La clasificación de los suelos es posible gracias a varios ensayos para determinar qué tipo de suelo se obtiene, entre ellos se encuentran las arcillas que son motivo de estudio por su comportamiento inestable y expansivo, la característica de estos suelos es la presencia de humedad y sus cambios de volumen, en la composición de estas hace parte la caolínica que es un mineral que presenta una gran carga de humedad¹³.

Para poder clasificar estas arcillas (caolinicas) es necesario hacer unas pruebas en laboratorio llevando la muestra del sitio, para establecer su categorización por medio de diferentes parámetros se han establecidos unas normas estándar, en Colombia el Instituto Nacional de Vías “INVIAS” han hecho estas normas, tomando como base unos estatutos internacionales como la American Association of State Highway and Transportation Officials “ASTHO”².

La granulometría es una prueba que se divide dependiendo del tamaño de las partículas que pueden ser gruesas o finas. Aquellas que son gruesas se les asigna la práctica por tamizado, consiste en pasar la muestra por los diferentes tamaños de coladores o tamices, se cuelan

¹¹ Gonzalo Duque, Carlos Escobar. *Mecánica de los suelos*. Manizales : universidad nacional, 2002.

¹² Nieto, Luis marti. *Mecánica de suelos*. Guayaquil : s.n., 1991.

¹³ Juarez Badillo, Rico Rodriguez. *Mecánica de Suelos*. Mexico : Limusa S.A., 2005.

llegando hasta el tamiz # 200. Para las partículas finas se le hace el ensayo por hidrómetro es una de las pruebas más usadas, ya que por medio de él se analizan unas partículas de tamaños diminutos y se caracterizan, y con los datos sacados se establece la curva granulométrica¹³.

Imagen 1: Foto de hidrómetro



fuelle <http://mecanicadelossuelos.blogspot.com.co>

Existe un método reciente llamado “pario” que como el hidrómetro se basa en la ley de Stokes, tiene ventajas como la optimización de tiempo y esfuerzo, la operación de análisis de tamaño de partícula convencional requiere mucho tiempo y energía, las lecturas o muestreos deben hacerse a mano, con intervalos regulares hasta por 24 horas, se debe a que el procedimiento es manual, puede estar propenso a errores, este nuevo equipo permite un funcionamiento automatizado reduciendo el error y ahorrándonos tiempo ya que este demora 6 horas en entregar resultados esto nos resulta unos resultados altamente precisos¹⁴.

Imagen 2: Foto de equipo pario



Fuente: Pario User Manual. 2017

¹⁴ **ENVIRONMENT, METER.** PARIO reduces time spent on particle-size analysis. *PARIO reduces time spent on particle-size analysis*. [En línea] 2017. [Citado el: 29 de 03 de 2018.] <https://www.metergroup.com/news/environment/pario-reduces-time-spent-on-particle-size-analysis/>.

4.2. Marco conceptual.

Las arcillas se consideran como minerales naturales, ya que son rocas blandas que al contacto con el agua se hacen frágiles, sus propiedades dependen de su tamaño que son inferiores a (2 mm), constituyen una parte importante de los suelos y sus atributos fisicoquímicos son por la meteorización de los silicatos, su estructura es cristalina definida. Su clasificación depende de los bilaminares, trilaminares, y pertenecen a los filosilicatos¹⁵.

El caolín es una arcilla compuesta por minerales del grupo del caolín, que se trata de una arena caolínifera cuando se extrae posee un contenido inconstante de caolinita. La caolinita tiene un tamaño muy pequeño de partícula y por eso se considera que entre mayor sea el contenido del caolín bruto mayor el porcentaje de caolinita¹⁵.

Para partículas finas los ensayos de granulometría se hacen por hidrómetro, estos están calibrados según la norma "INVÍAS" ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO I.N.V. E – 124 – 07 que dice las partículas menores a **"75 µm se determina por un proceso de sedimentación, usando un hidrómetro que asegure los datos necesarios"**.

"Hidrómetro – Conforme a los requisitos para los hidrómetros 151 H o 152 H de la norma ASTM E 100, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, la gravedad específica de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de gravedad específica que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20° C (68° F). Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/l) que van de - 5 á+ 60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1.00 a 20° C (68° F) y que el suelo en suspensión tiene una gravedad específica de 2.65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas"¹⁶.

"PARIO" este equipo también funciona como un hidrómetro, la ventaja del nuevo equipo es que es completamente automatizado, el cual no requiere supervisión constante, ya que este arroja los datos automáticamente, con el equipo Pario se puede optimizar tiempo y dinero. Es una nueva alternativa de invocación y precisión en el momento de analizar la curva granulométrica de las partículas de los suelos.

4.3. Estado del Arte

Water Resources Research desarrolló recientemente el método de suspensión integral que se implementa (ISP), en el dispositivo del grupo METER PARIO. Este nuevo método estima el PSD

¹⁵ Emilia García Romero, Mercedes Suares Barrios. LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS. *paper*. Madrid : s.n., 2018.

¹⁶ "INVÍAS". ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO. *norma* . Bogota : s.n.

continuo de la sedimentación de experimentos registrando la evolución temporal de la presión de suspensión a una cierta profundidad de medición en un cilindro de sedimentación.¹⁷

No requiere interacción manual después del inicio. Por lo tanto, no hay capacitación especializada del laboratorio, el objetivo de este estudio fue probar la precisión del nuevo método con una variedad de materiales. Los experimentos se realizaron con un material de limo de cuarzo puro y cuatro materiales de suelo reales.¹⁷

Se realizaron repetitivamente en las mismas muestras en un laboratorio de temperatura controlada para caracterizar la repetitividad de las mediciones. Posteriormente, las muestras se investigaron mediante el método de pipeta para validar los resultados. Que el error estadístico para la fracción de limo a partir de mediciones duplicadas y repetitivas estaba en el rango del 1%, para el material de cuarzo al 3%.¹⁸

Para materiales del suelo. Dado que las fracciones de arena, como en cualquier método de sedimentación, deben medirse explícitamente y se utilizan como parámetros fijos en la evaluación PARIO, se determina el error de la fracción de arcilla por propagación de error de la fracción de arena y limo.¹⁸

A comienzos del 2017 la compañía UMS, Múnich. Desarrollo un instrumento llamado PARIO comercializado por el grupo METER. Este es el nuevo dispositivo para determinar el tamaño de partícula continuo distribuciones de suelos y sedimentos.¹⁹

4.4. Marco legal.

Hidrómetro – Conforme a los requisitos para los hidrómetros 151 H o 152 H de la norma ASRM E 100, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, la gravedad específica de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de gravedad específica que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20° C (68° F). Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/l) que van de - 5 á+ 60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad

¹⁷ Wolfgang Durner (1), Magdalena Huber (2), Li Yangxu (1), Andi Steins (3), Thomas Pertassek (3), Axel Göttlein y Dumer, Wolfgang. Testing the ISP method with the PARIO device: Accuracy of results and influence of homogenization technique. Germany : Geophysical Research Abstracts, 2017.

¹⁸ Alina Miller (1), Thomas Pertassek (1), Andreas Steins (1), Wolfgang Durner (2), Axel Göttlein (3), Wolfgang Petrik (3), and Georg von Unold (1). The new PARIOTM device for determining continuous particle-size distributions of soils and sediments. Germany : Geophysical Research Abstracts, 2017. Vol. 19, EGU2017-16452-1, 2017.

¹⁹ Yuli Liu (1, 2), Stefan Buehler (2), and Huguang Liu (1). A retrieval algorithm of hydrometer profile for submillimeter-wave radiometer. Germany : Geophysical Research Abstracts, 2017. Vol. 19, EGU2017-17642, 2017.

específica de 1.00 a 20° C (68° F) y que el suelo en suspensión tiene una gravedad específica de 2.65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas.²⁰

²⁰ Colombia., Instituto Nacional de Vías de. Instituto Nacional de Vías de Colombia. INVÍAS. Colombia : INVÍAS., I.N.V.E - 124 -07. I.N.V. E – 124 – 0

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general.

- Implementar un equipo automatizado llamado Pario que realice mediciones y toma de datos para los ensayos de granulometría en diferentes tipos de suelos.

5.2. Objetivos específicos.

- Realizar y analizar los ensayos realizados con el Hidrómetro y el equipo Pario, y así poder determinar la ventajas y desventajas del nuevo equipo.
- Proponer una nueva alternativa de laboratorio que compare los resultados obtenidos con los dos tipos de equipos.
- Determinar cuál de los dos (02) tipos de curvas tiene una mayor caracterización precisa en la medición de porcentaje con respecto a su diámetro.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1. Alcances:

Según lo planteado dentro de la investigación se estipulo un trabajo de cuatro (04) meses una vez adquirido el equipo Pario, para la comparación con el método convencional aparato hidrómetro 502H.

- Se realiza diferentes ensayos de ambos equipos para su análisis.
- Se compara resultados para determinar ventajas y desventajas de cada equipo.
- Determinar cuál curva tiene una mayor precisión.
- Crear alternativas para ensayos de suelos finos por la técnica del hidrómetro.

6.2. Limitaciones:

- Para proceder con los ensayos era necesario la adquisición del equipo pario para realizar una capacitación para el manejo adecuado.
- No hay información sobre el equipo pario ya que es un equipo nuevo.
- solo se puede realizar un ensayo cada 24 horas, ya que solo se adquirió un equipo.
- No hay profesionales calificados en el equipo pario en el país.

7. METODOLOGÍA

7.1. Alcance de la entrega y sistema general.

Imagen 3:Equipo Pario



Fuente: Pario User Manual. 2017

En esta ilustración se puede evidenciar el quipo en general y sus componentes los cuales se van a describir a continuación.

Imagen 4:Montaje equipo Pario

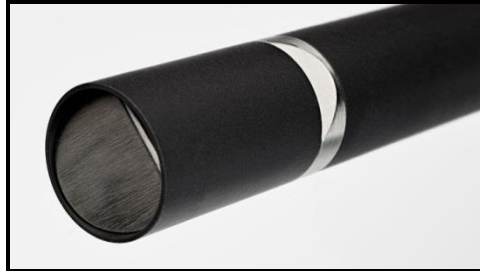


Fuente propia 2018.

Este equipo se compone de las siguientes de las siguientes partes:

Sensor de medición: Este es un sensor de presión, el cual incorporado trae un sensor de temperatura.

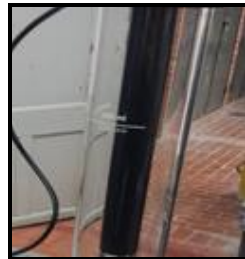
Imagen 5: Sensor de Medición



Fuente propia 2018

Eje de medición: El cual nos ayuda a una mayor precisión para la toma de datos.

Imagen 6: Eje de medición



Fuente Propia 2018.

Cabeza de medición: La cabeza de medición se compone de circuitos y componentes, los cuales realizan la traducción de señales que ayudan a la generación de datos para los ensayos.

Imagen 7: Cabeza de medición



Fuente Propia 2018.

La conexión se realiza via usb, directamente con el computador mediante el cable que se puede evidenciar en la ilustracion No.3 y 4.

El sistema cuenta con dos cilindros de vidrio como se puede evidenciar en la ilustracion 10. Los cuales son indispensables para el correcto funcionamiento del equipo.

7.2. Análisis de granulometría por hidrometría.

El análisis por hidrómetro se basa en la sedimentación de partículas en agua al suelo, las partículas decantan a diferentes velocidades y esto se usa para medir el tamaño del grano. Para esto se utiliza la ley de Stokes, según la norma de invías de análisis granulométrico por medio del hidrómetro I.N.V.E. – 124 es **“el cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente a través de un fluido, con el diámetro de la esfera.**

$$v = \frac{ts - tf}{1800 \eta} \times D^2$$

Ecuación 1: Ley de Stokes. Tomada I.N.V.E.-124

Donde:

V=velocidad

Ts=Densidad de la esfera (g/cm3)

Tf=Densidad del fluido (g/cm3)

η=Viscosidad de fluido (g. s/cm2)

D=Diámetro de la esfera (mm).

Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado. Con partículas de varias formas y tamaños”²⁰

7.2.1. Ensayo por equipo hidrómetro 152 h.

Para este ensayo vamos a contar con un equipo que se especifica en la norma del invías I.N.V.E.-124-07 los cuales son:

- **Balanza - Debe tener una capacidad suficiente y una sensibilidad de 0.1%.**
- **Tamices - De 4.75 mm (No.4), de 425 μm (No 40) y de 75 μm (No.200).**
- **Tamizadora mecánica.**
- **Aparato agitador - Mecánico o neumático, con su recipiente de dispersión.**
- **Hidrómetro - Graduado para leer, Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1.00 a 20 °C (68 °F) y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2.65.**

- Cilindro de vidrio para sedimentación - De unos 457 mm (18") de alto, y 63.5 mm (2.5") de diámetro y marcado para un volumen de 1000 ml a 20 °C (68 °F).
- Termómetro de inmersión- Con apreciación de 0.5 °C (0.9 °F).
- Cronómetro o reloj.
- Horno - Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Baño de Agua o Cuarto de temperatura constante – Se utiliza para mantener la suspensión de suelo a temperatura constante durante el análisis del hidrómetro, evitándose de esta forma las correcciones por temperatura. Utensilios de uso general.
- Vaso de vidrio (Beaker) – Un vaso de vidrio con una capacidad de no menos de 250 ml y no más de 500 ml.
- Recipientes – Recipientes apropiados, hechos de material no corrosivo y que no estén sujetos a cambio de masa o desintegración a causa de repetidos calentamientos y enfriamientos.
- Varilla de vidrio – Una varilla de vidrio apropiada para agitar la muestra de prueba.
- Una solución de hexametáfosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución.”²⁰

7.2.2. Preparación de la muestra.

- Peso del mineral.

Tabla 1: Porcentaje en peso del mineral.

Mineral (% Peso)	Fórmula química	Caolín
Cuarzo	SiO_2	52.69
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	36.48
Illita	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}$	9.75
Montmorillonita	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1.08
Metahalloysita	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	-

fuelle: GMA S.A.S. LABORATORIO DE GEOLOGÍA 2018

- **Análisis De minerales**

Tabla 2: Análisis de minerales

Mineral (% Peso recalculado)	Caolín	Bentonita	Arcilla Natural
Caolinita	77.11	-	77.13
Illita	20.60	-	4.57
Montmorillonita	2.29	99.64	18.30
Metahalloysita	-	0.36	-

Fuente GMAS S.A.S. LABORATORIO DE GEOLOGÍA 2018

El tamaño de la muestra para el ensayo mecánico varía con respecto a su tipo, si es arena el tamaño puede estar entre los 75 a 100 g, para los limos y arcillas está entre 50 y 60 g, por recomendación de la norma la muestra se debe ensayar con su humedad natural.

$$ws = \frac{\text{Peso del suelo humedo}}{1 + \frac{\text{humedad (w)}}{100}}$$

Ecuación 2: Humedad. Tomada I.N.V.E.-124

W = humedad: se saca con la porción no vaya a hacer utilizada.²¹

Se tomó la muestra del material caolín blanco

Imagen 8: Foto de muestra de suelo caolín blanco



Caolín blanco peso seco de 54.78 g ensayo 1

Fuente propia 2018.

7.2.3. Procedimiento.

- Se toma todos los datos existentes de la muestra en un formato.

²¹ Colombia., Instituto Nacional de Vías de. Instituto Nacional de Vías de Colombia. INVÍAS. Colombia : INVÍAS., I.N.V.E - 122 -07. I.N.V. E – 124 –

Tabla 3: Datos de la muestra a ensayar

MUESTRA	CAOLIN BLANCO1		
HIDROMETRO	152 H		
DEFLOCULANTE	HEXAMETAFOSFATO DE SODIO		
TAMAÑO MAXIMO			
CILINDRO	1000ml		

fuelle propia 2018

- Se procede a tomar los pesos de la muestra del suelo.

Tabla 4: Pesos de la muestra.

RECIPIENTE #	2
PESO RECIPIENTE (g)	101.79
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	156.57
PESO SUELO SECO + SOLUCION	54.78
PESO SUELO SECO W0	49.78

fuelle propia 2018

- En un Beaker de 250 ml, se aplicó agua destilada, se le agrego 40 g/l de hexametaformato de sodio. Después de pesada la muestra de suelo seco se agrega en una capsula de porcelana, y se le añade la solución de agua destilada con defloculante, se deja reposar por 16 horas.²²

Imagen 9: Foto de muestra de suelo.



Solución de agua destilada
y el defloculante

Muestra de suelo seco

Fuente <https://www.youtube.com>.2018

²² Raudales, Eduardo. hidrometria. youtube, 2008.

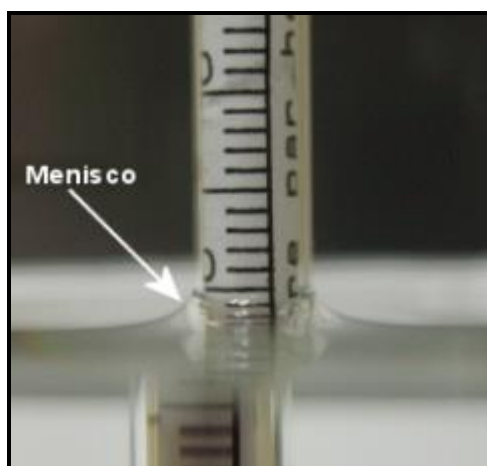
Después de las 16 horas se llena una probeta con agua destilada hasta la línea de aforo, se introduce el hidrómetro y se realiza la toma de la medida en la parte superior e inferior del menisco, así se obtiene la corrección por menisco.

- **Corrección por Menisco (Cm).**

La toma de datos se debe realizar en la parte superior del hidrómetro, cuando se introduce el hidrómetro en el agua destilada y se produce un levantamiento del líquido a esto se le llama menisco. El líquido oscila unos milímetros por encima de la superficie del agua.

Hidrómetro tipo 152 H: Cm = 1,0 g/litro.

Imagen 10: Foto de menisco



Fuente <http://www.metrologia.cl/medios/noticias/hidrometro>

- **Corrección por agente de dispersión y por desplazamiento del punto cero (cd).**

En otra probeta se vierte 125 ml de hexametáfosfato de sodio, y se llena con agua destilada hasta la línea de aforo. Se introduce el hidrómetro tomando la lectura en la parte elevada del menisco.

Para determinar el diámetro de una partícula que cae libremente a través de un fluido y para evitar que el grano se adhiera y decanten, se aplica el defloculante hexametafosfato de sodio. Según la norma Invías 124-7 **“Realícese, en la parte superior del menisco, la lectura del hidrómetro e introdúzcase a continuación un termómetro para medir la temperatura de la solución. Calcúlese la corrección por defloculante y punto cero (Cd) mediante la Fórmula:**

$$Cd = \tau' + Cm \pm Ct$$

Ecuación 3: Corrección del punto cero. Tomada I.N.V.E.-124

- **Donde:**
 - τ' = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente
 - C_m = Corrección por menisco
 - C_t = Corrección por temperatura, sumada algebraicamente”²⁰.
- La muestra de suelo se transfiere de la capsula al vaso para mezclar, teniendo cuidado que no vayan a quedar residuos. Se mezcla durante un minuto, después se vierte la mezcla en la probeta y se llena con agua destilada hasta la línea de aforo.

Tapando la parte superior de la probeta con la palma de la mano se homogeniza la mezcla.

Se introduce el hidrómetro, se toma las medidas por un rango de tiempo, la duración de este sumergido es medido por el cronometro. Las mediciones se repetirán varias veces en un rango mayor de tiempo. Después de cada lectura se tomará la temperatura.

Imagen 11: Foto lecturas con hidrómetro



Fuente propia 2018

- Se toman las lecturas según el rango de tiempos mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 5: Foto lecturas con hidrómetro

TIEMPO	TEMP
min	°C
0	
1	24
2	24
5	23
15	23
30	23
60	21
120	20
240	20
1440	20

fuentes propia 2018

7.2.4. Cálculos:

Después de haber tomado las mediciones se procede con los cálculos según la norma invías.

- **Lectura de hidrómetro corregida:**

$$R' + Cm - Cd = R$$

Ecuación 4: corrección de lectura del hidrómetro. Tomada I.N.V.E.-124

Donde:

- ✓ R'=lectura del hidrómetro no corregida.
- ✓ Cm=corrección por menisco, se tomó Cm=1 como se muestra en la tabla 4.
- ✓ Cd=corrección de defloculante y punto cero.
- ✓ R=corrección por menisco.

Tabla 6: corrección por menisco ensayo 1

TIEMPO min	TEMP °C	R' g/l	T' g/l	Ct g/l	Cd g/l	R g/l	L cm	K	D mm	PASA %
0										100
1	24	59	8	1,3	10,3	49,7	6,60	0,01282	0,0329	99,84
2	24	58	8	1,3	10,3	48,7	6,80	0,01282	0,0236	97,83
5	23	57	8	0,9	9,9	48,1	7,00	0,01297	0,0153	96,63
15	23	51	8	0,9	9,9	42,1	7,90	0,01297	0,0094	84,57
30	23	46	8	0,9	9,9	37,1	8,80	0,01297	0,0070	74,53
60	21	35	8	0,3	9,3	26,7	10,60	0,01312	0,0055	53,64
120	20	32	8	0	9	24	11,10	0,01344	0,0041	48,21
240	20	25	8	0	9	17	12,20	0,01344	0,0030	34,15
1440	20	11	8	0	9	3	14,50	0,01344	0,0013	6,03
Cm		1	$R' + Cm - Cd = R$							
Gs		2,68								
ALFA		1,000								
W0		49,78								

fuentes propia 2018.

- **Cálculo del diámetro de las partículas (D):**

$$D(mm) = K\sqrt{\frac{L}{T}}$$

Ecuación 5: Diámetro de partícula. Tomada I.N.V.E.-124

Donde:

- ✓ L=profundidad efectiva en cm. (Ver tabla 5)
- ✓ T=tiempo transcurrido en minutos

- ✓ Según la norma del Invías K= “constante para facilitar el cálculo, la cual depende del valor de la gravedad específica del suelo y de la temperatura de la suspensión. Los valores de K se encuentran tabulados en una Tabla, en función de la gravedad específica y la temperatura”²⁰

Tabla 7: Valores de profundidad efectiva

Hidrómetro 151 H		Hidrómetro 152 H			
Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L, mm	Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L, mm	Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L, mm
1	163.0	0	163	31	112
1.001	160.0	1	161	32	111
1.002	158.0	2	160	33	109
1.003	155.0	3	158	34	107
1.004	152.0	4	156	35	106
1.005	150.0	5	155		
1.006	147.0	6	153	36	104
1.007	144.0	7	152	37	102
1.008	142.0	8	150	38	101
1.009	139.0	9	148	39	99
1.010	137.0	10	147	40	97
1.011	134.0	11	145	41	96
1.012	131.0	12	143	42	94
1.013	129.0	13	142	43	92
1.014	126.0	14	140	44	91
1.015	123.0	15	138	45	89
1.016	121.0	16	137	46	88
1.017	118.0	17	135	47	86
1.018	115.0	18	133	48	84
1.019	113.0	19	132	49	83
1.020	110.0	20	130	50	81
1.021	107.0	21	129	51	79
1.022	105.0	22	127	52	78
1.023	102.0	23	125	53	76
1.024	100.0	24	124	54	74
1.025	97.0	25	122	55	73
1.026	94.0	26	120	56	71
1.027	92.0	27	119	57	70
1.028	89.0	28	117	58	68
1.029	86.0	29	115	59	66
1.030	84.0	30	114	60	65
1.031	81.0				
1.032	78.0				
1.033	76.0				
1.034	73.0				
1.035	70.0				
1.036	68.0				
1.037	65.0				
1.038	62.0				

fuentes I.N.V. E – 124 – 07

Tabla 8: Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas.

Para: h en (g/cm.s); g_w en (g/cm³); L en (cm); T en (min.)

Temperatura °C	Gravedad específica de las partículas de suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01501	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Fuente I.N.V. E – 124 – 07

Tabla 9: cálculo del diámetro de las partículas en mm ensayó 1,

TIEMPO	TEMP	R'	T'	Ct	Cd	R	L	K	D	PASA
min	°C	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	cm		mm	%
0										100
1	24	59	8	1,3	10	49,7	6,60	0,01282	0,0329	99,84
2	24	58	8	1,3	10	48,7	6,80	0,01282	0,0236	97,83
5	23	57	8	0,9	9,9	48,1	7,00	0,01297	0,0153	96,63
15	23	51	8	0,9	9,9	42,1	7,90	0,01297	0,0094	84,57
30	23	46	8	0,9	9,9	37,1	8,80	0,01297	0,0070	74,53
60	21	35	8	0,3	9,3	26,7	10,60	0,01312	0,0055	53,64
120	20	32	8	0	9	24	11,10	0,01344	0,0041	48,21
240	20	25	8	0	9	17	12,20	0,01344	0,0030	34,15
1440	20	11	8	0	9	3	14,50	0,01344	0,0013	6,03

fuentes propia 2018

- Cálculo del porcentaje más fino al tamaño “D” o porcentaje del suelo en suspensión.

$$\% \text{ más fino} = \frac{R * \alpha}{W_0} * 100$$

Ecuación 6: Porcentaje de finos. Tomada I.N.V.E.-124

Donde:

- ✓ R= corrección por menisco
- ✓ Alfa=Factor de correlación por gravedad específica ver tabla 8
- ✓ W0= masa de la muestra de suelo seco.

Tabla 10: valores de correlación por gravedad específica

Gravedad Específica G_s	Constante λ
2.95	0.94
2.85	0.96
2.75	0.98
2.65	1
2.55	1.02
2.45	1.05
2.35	1.08

Fuente I.N.V. E – 124 – 07

7.2.5. Curva granulométrica

Tomando los datos calculados del diámetro de las partículas y del porcentaje que pasa, se comparan. Tomando el porcentaje que pasa en el eje Y, el diámetro de las partículas en el eje X, pero este en una escala logarítmica se da una curva granulométrica.

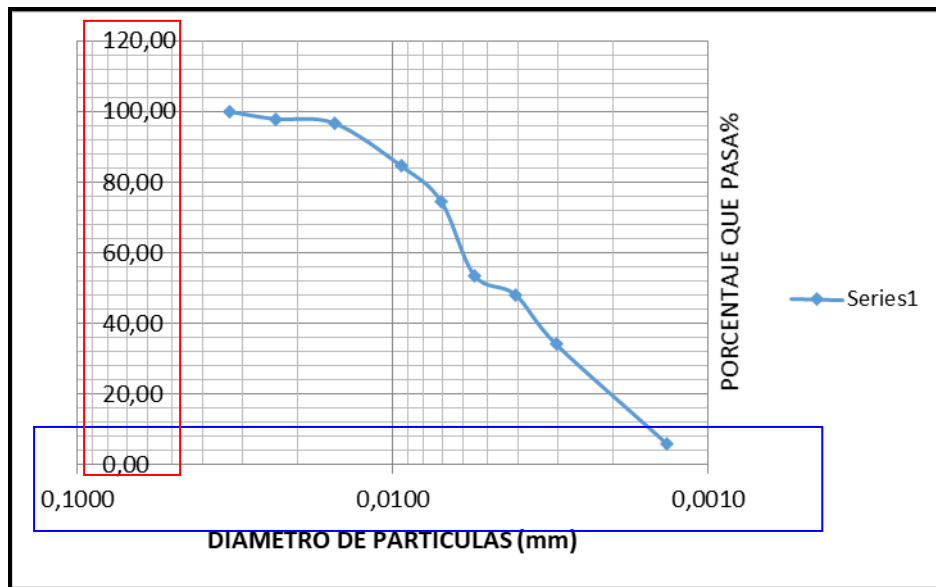
Tabla 11.: Toma de datos para curva granulométrica ensayo

Tabla 11: Toma de datos para curva granulométrica ensayo

TIEMPO	TEMP	R'	T'	Ct	Cd	R	L	K	D	PASA
min	°C	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	cm		mm	%
0										100
1	24	59	8	1,3	10	49,7	6,60	0,01282	0,0329	99,84
2	24	58	8	1,3	10	48,7	6,80	0,01282	0,0236	97,83
5	23	57	8	0,9	9,9	48,1	7,00	0,01297	0,0153	96,63
15	23	51	8	0,9	9,9	42,1	7,90	0,01297	0,0094	84,57
30	23	46	8	0,9	9,9	37,1	8,80	0,01297	0,0070	74,53
60	21	35	8	0,3	9,3	26,7	10,60	0,01312	0,0055	53,64
120	20	32	8	0	9	24	11,10	0,01344	0,0041	48,21
240	20	25	8	0	9	17	12,20	0,01344	0,0030	34,15
1440	20	11	8	0	9	3	14,50	0,01344	0,0013	6,03

fuentes propia 2018

Gráfico 1: curva granulométrica ensayo



fuelle propia 2018.

La clasificación de los finos depende del diámetro de sus partículas ver tabla

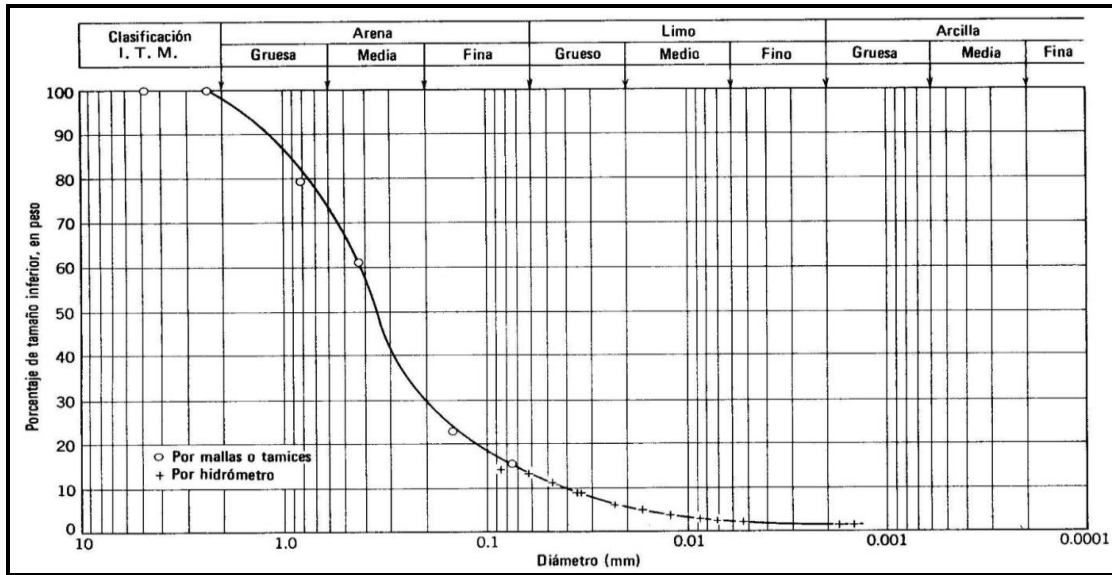
Tabla 12: Clasificación de finos según su diámetro.

FINOS	diámetro menore a 0.075 mm
Limos	0.002mm<diámetro < 0.075
Arcillas	diámetro<0.002mm

fuelle propia 2018

En la gráfica 2 se ve representada la distribución de los finos según su diámetro.

Gráfico 2: Curva granulométrica de un suelo areno-limoso.



Fuente: <https://es.wikipedia.org/2018>

7.3. Ensayo por equipo Pario.

Pario es un sistema automatizado para el análisis del tamaño de partículas, para suelos y sedimentos. La distribución del tamaño de partícula de los materiales granulares se obtiene mediante el método de sedimentación, que identifica específicamente las fracciones de limo con diámetros hidrodinámicos entre 63 μm “micras” (límite superior de tamaño) y un μm “micras” (límite inferior de tamaño).

La fracción de arcilla se calcula restando las fracciones de arena medidas externamente, y la fracción de limo de la cantidad total de material utilizado en el análisis. Los datos para las fracciones de arena son proporcionados por un análisis de tamiz.

Preferiblemente, este análisis se obtiene de forma independiente y antes del análisis Pario a partir de una muestra dividida.

En especificaciones técnicas este sistema tiene la misma funcionalidad que realiza las mediciones con el hidrómetro.

Este equipo realiza mediciones de partículas desde 63 μm “micras” hasta 1 μm “micras”. Estas mediciones se pueden realizar en dos rangos de tiempo, el primer rango va hasta dos μm “micras” el cual se realiza en un tiempo aproximado de 6 a 8 horas. El segundo rango aplica para partículas de 1 μm “micra”. El experimento se debe llevar a un tiempo aproximado de 24 horas, como se realiza normalmente. Este sistema cuenta con unos cálculos, junto con unas proyecciones ya incorporadas los cuales permiten estimar lo que hace falta.

El error aproximado de la detección de esta fracción es más o menos del 3%. El error con los hidrómetros convencionales puede llegar hasta un 10%. Este sistema ya sería una mejora muy importante respecto a los métodos convencionales.

Tiene una precisión la medición de presión de 0.1 Pa. También cuenta con una masa “muestra de suelo” para medición inicial la cual debe estar entre 25 a 40 gramos. Esto depende del contenido de arenas que pueda tener la muestra, si es una muestra con alto contenido de arenas, la recomendación es utilizar una muestra que este alrededor de los 40 gramos, si es una muestra con alta cantidad de arcilla lo recomendable es utilizar una cantidad alrededor de 25 gramos, esto con el fin de lograr que el equipo pueda realizar las mediciones correctamente.

- **Peso de la muestra de Caolín blanco**

Imagen 12: Peso de la muestra de Caolín blanco



Fuente Propia.2018

Ninguno de estos dos equipos mide como tal la proporción de las arenas, esta se realiza por sustracción.

Tiene un intervalo de medida único de 10 segundos. Una vez iniciadas las mediciones, se registran tres datos; Tiempo, presión y temperatura durante el tiempo que dure el ensayo.

Tiene un rango de temperatura de operación aproximadamente entre los 5 y 35 °C. pero solo admite un máximo de variación de temperatura de 3 °C, es decir si el ensayo empieza en 20 °C solo puede admitir 1.5 °C de desviación, durante el tiempo que dure el ensayo.

Se recomienda que, para realizar el ensayo el equipo este alejado de ventanas, radiación directa, corrientes de aire. Que permita la variación de temperatura.

Este equipo tiene una alta precisión, si cuenta con las condiciones mínimas que necesita, las cuales son temperatura y superficies libres de vibraciones.

El volumen de la suspensión de las muestras que se encuentran certificadas es de 1 litro o 1.000 mililitros, la altura del cilindro es de 35 cms, el cual requiere energía de 1 miliwatt.

- **Cilindro de Medición 1000 ml.**

Imagen 13: Cilindro de Medición 1000 ml.



Fuente Propia 2018

El equipo debe estar conectado todo el tiempo a un computador mientras se realiza las medidas, de esta manera el equipo va a tomar la fuente de alimentación de energía y donde va a realizar el almacenamiento de datos. Si no se encuentra conectado a un computador el equipo no va a estar en funcionamiento.

También se requiere realizar un análisis de proporción de arenas, como gruesas, medias y finas. El equipo toma como base esas proporciones de arena, el resto de las partículas las calcula, por esto se requiere una base de cuanto porcentaje de esas partículas son arena, para que el equipo pueda empezar a sumar de acuerdo con las mediciones que está realizando.

Se recomienda tener una muestra igual a la que se está realizando en el ensayo, esto con el fin de poder hacer el tamizado a las arenas y tener la representatividad, al ser una mezcla homogénea la dos muestras deben concordar con las proporciones. Este dato se debe ingresar en el equipo, lo que se recomienda es que se realice al inicio del ensayo. Esto con el fin de evitar recalcular.

Este equipo maneja un led en su cabezal de mediciones, como se muestra en la ilustración N° 7. El anillo de led dependiendo de la manera y los colores que tenga indican diferentes reacciones, cuenta con tres colores; blanco, azul y rojo. El blanco cuando se enciende la luz intermitente se enciende la luz tres veces, eso quiere decir que el dispositivo lo reconoció el computador. Cuando la luz se queda en blanco neutro, esto quiere decir que el equipo ha sido reconocido por el software. Cuando vuelve la luz intermitente blanca, esto quiere decir que ya se encuentra listo para la medición de datos.

Cuando se presenta la luz azul en forma intermitente, esto indica que ya se inició el proceso de medición el cual se presenta con un intervalo de 10 segundos por cada medición. Cuando la luz azul queda completamente neutra, el equipo está indicando que el ensayo ya ha finalizado su proceso de medición.

- **Ensayo finalizado.**

Imagen 14: Ensayo finalizado



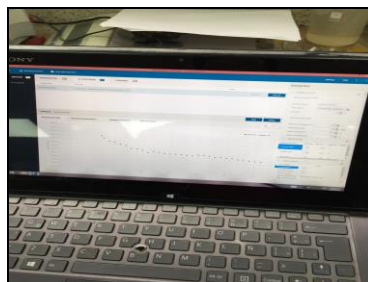
Fuente Propia 2018

Si se presenta una luz roja, esto nos indica que el equipo está arrojando un error y se debe revisar de inmediato, esta luz roja se presenta cuando golpeamos la superficie donde se encuentra apoyado el equipo pario. Cuando se presenta este tipo de golpes la luz roja queda neutra, también existe otra posibilidad, y es posible que el equipo este solicitando actualización de software.

Para la descarga y actualización de software se debe ingresar a la página de la empresa creadora del equipo, METER GROUP www.metergroup.com se debe buscar la palabra pario y en ese instante va a aparecer el software, es una forma sencilla y rápida de descargar. Automáticamente se instala el software y el controlador de USB.

- **Medición de lecturas.**

Imagen 15: Medición de lecturas



Fuente Propia 2018

Para evitar errores de reconocimiento del equipo, se debe conectar primero el dispositivo al computador y luego si abrir el software, para saber si el software reconoció el equipo, en el costado izquierdo superior de la pantalla del computador, aparece cuantos dispositivos se encuentran conectados, la ventaja de este programa es que podemos conectar varios equipos parios al tiempo.

El sistema esta automáticamente configurado para que reconozca los datos ingresados inicialmente para todos los ensayos que se van a realizar de la misma muestra.

El software cuenta con tres menús, la numero uno es la parte general de las mediciones es donde se van a guardar los datos, los parámetros que ya son por defecto y la parte de los datos de tamizaje, en este paso es donde es de gran importancia el tema de las arenas.

Se recomienda que este equipo sea manipulado por un laboratorista capacitado, también se debe hacer uso del manual del equipo, el cual se encuentra en medio físico dentro de la caja de empaque.

La prueba del hidrómetro es uno de los enfoques más confiables para estimar la distribución del tamaño de partícula del suelo de grano fino. El enfoque general descuida las interacciones hidrodinámicas de partículas que obstaculiza la tasa de sedimentación de las partículas y, como tal, generalmente lleva a una subestimación del diámetro de partículas.

- **Montaje Ensayo.**

Imagen 16: Montaje Ensayo



Fuente Propia 2018

En este estudio, se busca realizar la comparación de dos tipos de hidrómetros uno convencional y otro automatizado. Las interacciones en las pruebas de hidrómetro convencionales se proporcionan y se prueban con éxito contra los resultados de mediciones de difracción láser.

Con el equipo pario se busca demostrar la eficiencia y confiabilidad que se puede lograr con este equipo de alta confiabilidad.

8. ANALISIS DE RESULTADOS.

- Hidrómetro convencional.

Para relacionar los ensayos por ambos equipos, se ejecutaron 5 laboratorios con el método del hidrómetro y 5 con el equipo pario, con el fin de comparar cuál de los dos tiene una mejor curva granulométrica y un menor porcentaje de error.

- Datos de la muestra:

Tabla 13: Datos de la muestra a ensayar.

MUESTRA	CAOLIN BLANCO1
HIDROMETRO	152 H
DEFLOCULANTE	HEXAMETAFOSFATO DE SODIO
TAMAÑO MAXIMO	
CILINDRO	1000ml

fuelle propia 2018

- Pesos de la muestra:

Tabla 14: Pesos de la muestra.

RECIPIENTE #	2
PESO RECIPIENTE (g)	101.79
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	156.57
PESO SUELO SECO + SOLUCION	54.78
PESO SUELO SECO W0	49.78

fuelle propia 2018

- Resultados de la muestra, tiempos en que fueron tomadas las lecturas y su temperatura, con sus cálculos ya descritos anteriormente y sus correcciones.

Tabla 15: Resultados de la muestra de caolín blanco

TIEMPO	TEMP	R'	T'	Ct	Cd	R	L	K	D	PASA
min	°C	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	cm		mm	%
0										100
1	24	59	8	1.3	10	49.7	6.60	0.01282	0.0329	99.84
2	24	58	8	1.3	10	48.7	6.80	0.01282	0.0236	97.83
5	23	57	8	0.9	9.9	48.1	7.00	0.01297	0.0153	96.63
15	23	51	8	0.9	9.9	42.1	7.90	0.01297	0.0094	84.57
30	23	46	8	0.9	9.9	37.1	8.80	0.01297	0.0070	74.53
60	21	35	8	0.3	9.3	26.7	10.60	0.01312	0.0055	53.64
120	20	32	8	0	9	24	11.10	0.01344	0.0041	48.21
240	20	25	8	0	9	17	12.20	0.01344	0.0030	34.15
1440	20	11	8	0	9	3	14.50	0.01344	0.0013	6.03

fuelle propio 2018

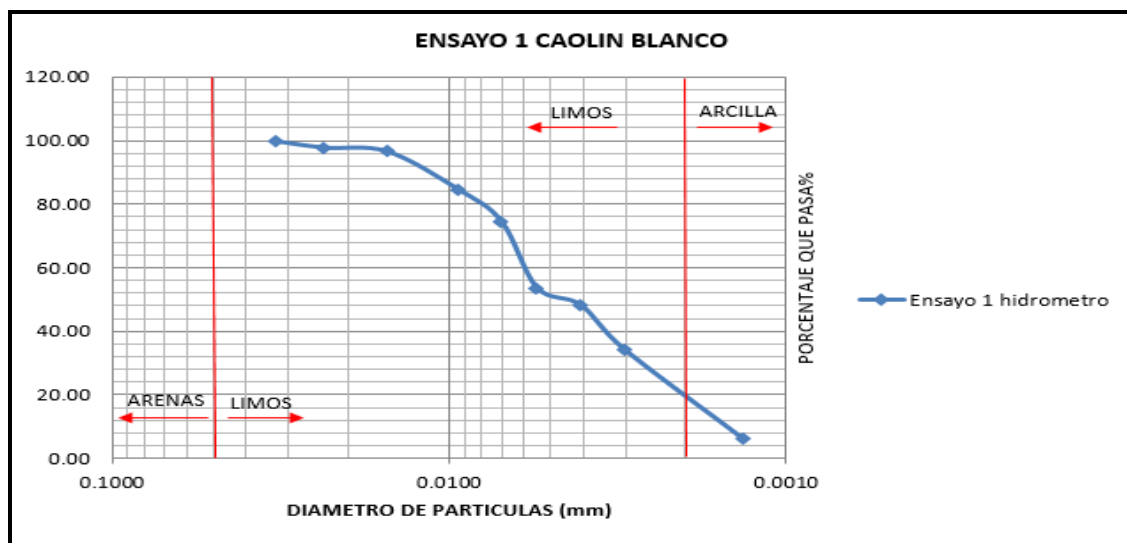
Tabla 16: gravedad específica y correcciones de las medidas.

Cm	1
Gs	2.68
ALFA	1.000
W0	49.78

Fuente propia 2018

- Curva granulométrica.

Gráfico 3: Representación del diámetro vs % que pasa



fuentes propia 2018.

- Clasificación de la muestra:

Tabla 17: Clasificación de la muestra

CLASIFICACION DE LA MUESTRA	
CAOLIN BLANCO (ENSAYO 1)	
% de limos	88.88%
% de arcilla	11.11%
% arena	0%

fuentes propia 2018

- Equipo Pario.
- Datos de la muestra

Tabla 18: Datos de la muestra a ensayar.

ENSAYO N°1 EQUIPO PARIO				
Densidad Partículas (Kg/l)	Masa de partículas añadidas (g)	Masa de sal añadida (g)	Volumen total de suspensión (L)	Tiempo de terminación de las mediciones (h)
2.680	30.0	5.0	1,000	18

fuentes propia 2018

- **Mediciones de la muestra.**

En la siguiente tabla se puede evidenciar el tiempo transcurrido en el ensayo N°1 el cual esta expresado en segundos, también se puede observar la variación de la temperatura y presión de la muestra.

Tabla 19: Mediciones de la muestra.

DENSÍOMETRO UMS - Versión 0.6.3			
File name		CaolinBlanco1	
DATOS DE MEDICIÓN			
Date/Time	Run time [s]	Temperature [°C]	Pressure [Pa]
4/9/18 14:25:08	50.0	24.32	1800.7
4/9/18 14:25:18	60.0	24.15	1800.5
4/9/18 14:25:28	70.0	23.99	1800.6
4/9/18 14:25:38	80.0	23.84	1800.6
4/9/18 14:25:48	90.0	23.71	1800.5
4/9/18 14:25:58	100.0	23.61	1800.7
4/9/18 14:26:08	110.0	23.51	1800.7
4/9/18 14:26:18	120.0	23.42	1800.7
4/9/18 14:26:28	130.0	23.34	1800.7
4/9/18 14:26:38	140.0	23.27	1800.5
4/9/18 14:26:48	150.0	23.21	1800.4
4/9/18 14:26:58	160.0	23.16	1800.4
4/9/18 14:27:08	170.0	23.11	1800.2
4/9/18 14:27:18	180.0	23.07	1800.2
4/9/18 14:27:28	190.0	23.03	1800.1
4/9/18 14:27:38	200.0	23.00	1800.1
4/9/18 14:27:48	210.0	22.97	1800.0
4/9/18 14:27:58	220.0	22.94	1799.9
4/9/18 14:28:08	230.0	22.91	1799.8
4/9/18 14:28:18	240.0	22.89	1799.7
4/9/18 14:28:28	250.0	22.87	1799.7
4/9/18 14:28:38	260.0	22.85	1799.6
4/9/18 14:28:48	270.0	22.83	1799.5
4/9/18 14:28:58	280.0	22.81	1799.4

4/9/18 14:29:08	290.0	22.79	1799.3
4/9/18 14:29:18	300.0	22.78	1799.3
4/9/18 14:29:28	310.0	22.76	1799.2
4/9/18 14:29:38	320.0	22.75	1799.0
4/9/18 14:29:48	330.0	22.73	1799.1
4/9/18 14:29:58	340.0	22.72	1798.8
4/9/18 14:30:08	350.0	22.71	1799.0
4/9/18 14:30:18	360.0	22.69	1798.8
4/9/18 14:30:28	370.0	22.68	1798.7
4/9/18 14:30:48	390.0	22.66	1798.6
4/9/18 14:31:08	410.0	22.64	1798.5
4/9/18 14:31:28	430.0	22.61	1798.2
4/9/18 14:31:48	450.0	22.59	1798.2
4/9/18 14:32:08	470.0	22.57	1798.1
4/9/18 14:32:28	490.0	22.54	1797.9
4/9/18 14:32:48	510.0	22.52	1797.8
4/9/18 14:33:08	530.0	22.49	1797.7
4/9/18 14:33:28	550.0	22.47	1797.7
4/9/18 14:33:58	580.0	22.43	1797.5
4/9/18 14:34:28	610.0	22.38	1797.4
4/9/18 14:34:58	640.0	22.33	1797.3
4/9/18 14:35:38	680.0	22.27	1797.1
4/9/18 14:36:08	710.0	22.22	1797.0
4/9/18 14:36:48	750.0	22.16	1796.8
4/9/18 14:37:28	790.0	22.10	1796.6
4/9/18 14:38:08	830.0	22.05	1796.3
4/9/18 14:38:58	880.0	21.98	1796.0
4/9/18 14:39:38	920.0	21.93	1795.8
4/9/18 14:40:28	970.0	21.88	1795.6
4/9/18 14:41:18	1020.0	21.83	1795.3
4/9/18 14:42:08	1070.0	21.78	1795.0
4/9/18 14:43:08	1130.0	21.72	1794.9
4/9/18 14:43:58	1180.0	21.68	1794.6
4/9/18 14:44:58	1240.0	21.62	1794.4
4/9/18 14:46:08	1310.0	21.57	1794.1

4/9/18 14:47:18	1380.0	21.51	1793.8
4/9/18 14:48:28	1450.0	21.46	1793.5
4/9/18 14:49:38	1520.0	21.41	1793.3
4/9/18 14:50:58	1600.0	21.35	1793.0
4/9/18 14:52:18	1680.0	21.29	1792.7
4/9/18 14:53:48	1770.0	21.23	1792.5
4/9/18 14:55:18	1860.0	21.18	1792.1
4/9/18 14:56:48	1950.0	21.12	1791.8
4/9/18 14:58:28	2050.0	21.06	1791.4
4/9/18 15:00:08	2150.0	20.99	1791.2
4/9/18 15:01:58	2260.0	20.93	1790.8
4/9/18 15:03:58	2380.0	20.86	1790.4
4/9/18 15:05:58	2500.0	20.79	1790.2
4/9/18 15:07:58	2620.0	20.72	1789.9
4/9/18 15:10:18	2760.0	20.64	1789.5
4/9/18 15:12:38	2900.0	20.56	1789.1
4/9/18 15:14:58	3040.0	20.48	1788.9
4/9/18 15:17:38	3200.0	20.40	1788.5
4/9/18 15:20:18	3360.0	20.32	1788.1
4/9/18 15:23:08	3530.0	20.24	1787.7
4/9/18 15:26:08	3710.0	20.16	1787.3
4/9/18 15:29:08	3890.0	20.08	1787.0
4/9/18 15:32:28	4090.0	20.01	1786.6
4/9/18 15:35:48	4290.0	19.94	1786.3
4/9/18 15:39:28	4510.0	19.88	1785.8
4/9/18 15:43:18	4740.0	19.83	1785.6
4/9/18 15:47:18	4980.0	19.78	1785.1
4/9/18 15:51:28	5230.0	19.73	1784.7
4/9/18 15:55:48	5490.0	19.69	1784.4
4/9/18 16:00:28	5770.0	19.65	1784.0
4/9/18 16:05:18	6060.0	19.62	1783.6
4/9/18 16:10:18	6360.0	19.60	1783.2
4/9/18 16:15:38	6680.0	19.58	1783.0
4/9/18 16:21:18	7020.0	19.56	1782.6
4/9/18 16:27:08	7370.0	19.53	1782.2

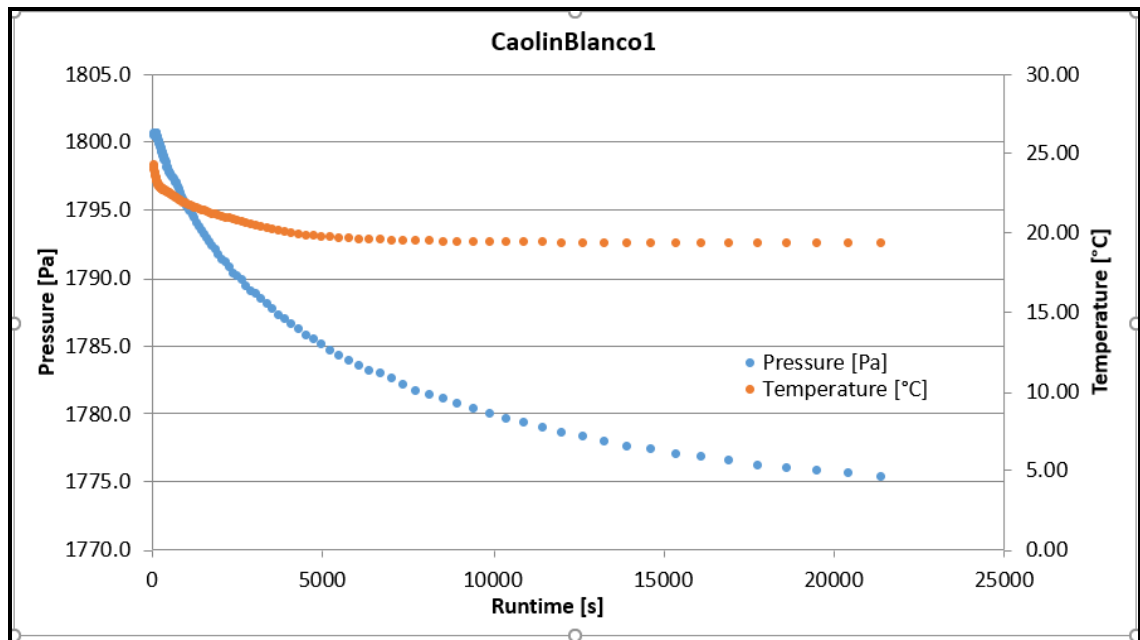
4/9/18 16:33:18	7740.0	19.51	1781.7
4/9/18 16:39:48	8130.0	19.49	1781.4
4/9/18 16:46:38	8540.0	19.47	1781.2
4/9/18 16:53:38	8960.0	19.46	1780.8
4/9/18 17:01:08	9410.0	19.45	1780.4
4/9/18 17:09:08	9890.0	19.44	1780.1
4/9/18 17:17:18	10380.0	19.43	1779.7
4/9/18 17:25:58	10900.0	19.42	1779.4
4/9/18 17:35:08	11450.0	19.41	1779.0
4/9/18 17:44:38	12020.0	19.40	1778.7
4/9/18 17:54:48	12630.0	19.38	1778.3
4/9/18 18:05:18	13260.0	19.36	1778.0
4/9/18 18:16:18	13920.0	19.36	1777.7
4/9/18 18:27:58	14620.0	19.35	1777.4
4/9/18 18:40:08	15350.0	19.36	1777.1
4/9/18 18:52:58	16120.0	19.35	1776.9
4/9/18 19:06:28	16930.0	19.37	1776.6
4/9/18 19:20:38	17780.0	19.36	1776.2
4/9/18 19:34:38	18620.0	19.38	1776.0
4/9/18 19:49:18	19500.0	19.37	1775.8
4/9/18 20:04:47	20429.0	19.37	1775.7
4/9/18 20:20:47	21389.0	19.37	1775.4

Fuente Propia. 2018

- **Gráfica: Presión – Tiempo de ejecución – Temperatura**

En esta grafica se puede evidenciar, que la temperatura tiene un mejor comportamiento vs la presión, en el tiempo de ejecución.

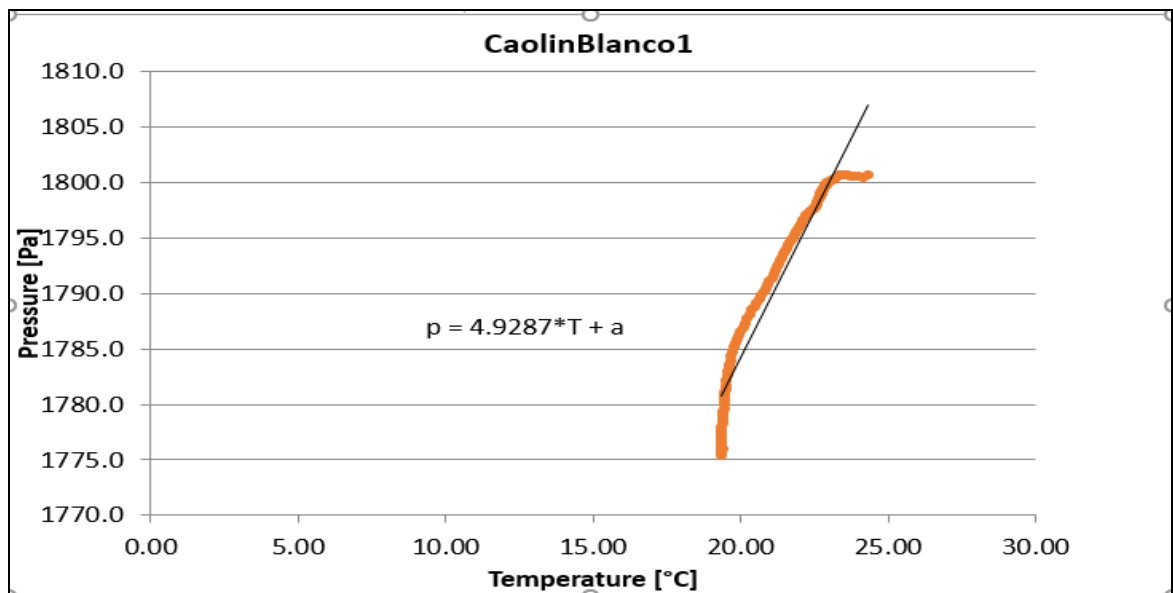
Gráfico 4: Presión – Tiempo de ejecución – Temperatura.



Fuente Propia 2018.

- Gráfica: Presión – Temperatura

Gráfico 5: Presión – Temperatura



Fuente Autor propio 2018.

Tabla 20: Tiempo - Presión observada – Presión Simulada – presión -Peso.

DENSIÓMETRO UMS - Versión 0.6.3				
Sample name		CaolinBlanco1		
MODELSIM.OUT				
TIME[S]	POBS[Pa]	PSIM[Pa]	RES[Pa]	WEIGHT[Pa^(-2)]
0.01		1801.65		0
0.32		1801.62		0
1		1801.61		0
3.16		1801.61		0
10		1801.56		0
50	1801.20	1801.26	-0.06	182321.56
60	1800.88	1801.18	-0.30	154150.68
70	1800.96	1801.10	-0.14	133531.39
80	1800.88	1801.02	-0.14	117783.04
90	1800.82	1800.94	-0.12	105360.52
100	1800.96	1800.86	0.10	95310.18
110	1800.89	1800.78	0.11	87011.38
120	1800.87	1800.70	0.17	80042.71
130	1800.85	1800.62	0.23	74107.97
140	1800.72	1800.54	0.18	68992.87
150	1800.61	1800.46	0.15	64538.52
160	1800.52	1800.38	0.14	60624.62
170	1800.37	1800.30	0.06	57158.41
180	1800.33	1800.23	0.10	54067.22
190	1800.20	1800.15	0.05	51293.29
200	1800.26	1800.08	0.19	48790.16
210	1800.07	1800.00	0.07	46520.02
220	1800.05	1799.93	0.13	44451.76
230	1799.91	1799.85	0.06	42559.61
240	1799.81	1799.78	0.03	40821.99
250	1799.81	1799.71	0.10	39220.71
260	1799.69	1799.63	0.06	37740.33
270	1799.62	1799.56	0.06	36367.64
280	1799.47	1799.49	-0.02	35091.32
290	1799.41	1799.42	-0.01	33901.55
300	1799.37	1799.35	0.01	32789.82
310	1799.24	1799.28	-0.04	31748.7
320	1799.06	1799.22	-0.15	30771.66
330	1799.15	1799.15	0.00	29852.96
340	1798.92	1799.08	-0.16	28987.54
350	1799.10	1799.02	0.08	28170.88
360	1798.82	1798.95	-0.13	27398.97
370	1798.81	1798.88	-0.08	52643.73

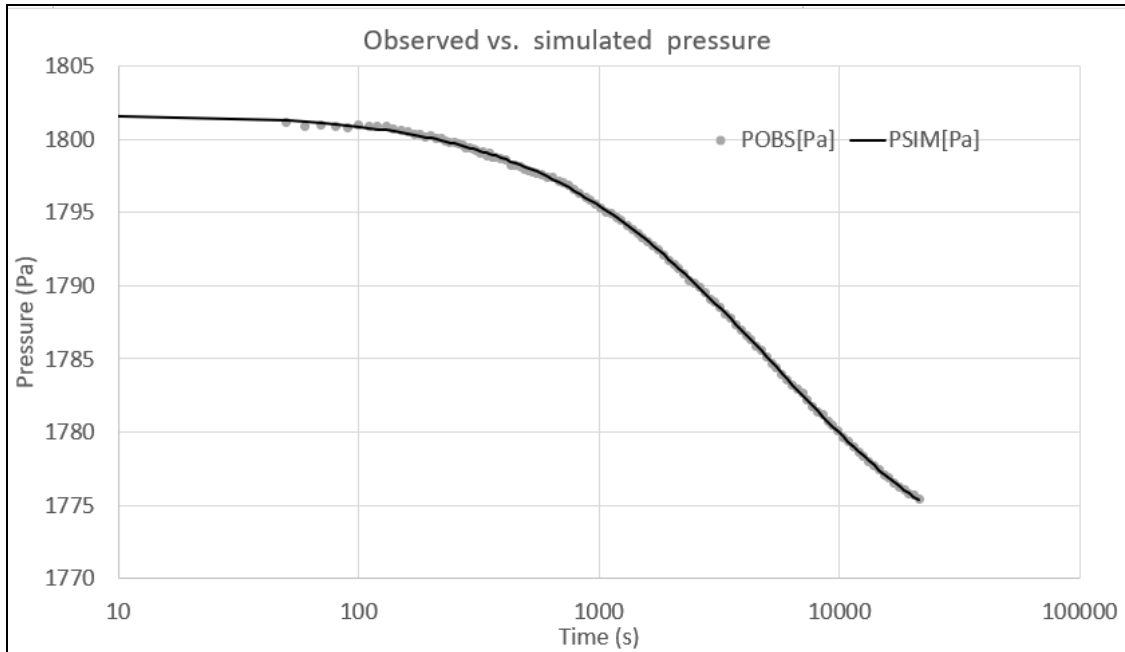
390	1798.68	1798.76	-0.07	50010.42
410	1798.57	1798.63	-0.06	47628.05
430	1798.28	1798.50	-0.23	45462.37
450	1798.26	1798.38	-0.12	43485.11
470	1798.11	1798.26	-0.15	41672.7
490	1797.98	1798.13	-0.16	40005.33
510	1797.84	1798.01	-0.18	38466.28
530	1797.76	1797.90	-0.14	37041.27
550	1797.72	1797.78	-0.06	53109.83
580	1797.56	1797.61	-0.04	50430.85
610	1797.43	1797.44	0.00	48009.22
640	1797.37	1797.27	0.10	60624.62
680	1797.13	1797.05	0.08	43172.17
710	1797.07	1796.89	0.18	54808.24
750	1796.82	1796.68	0.14	51959.74
790	1796.60	1796.47	0.12	49392.76
830	1796.32	1796.27	0.04	58496.21
880	1796.05	1796.03	0.02	44451.76
920	1795.87	1795.84	0.03	52922.4
970	1795.61	1795.60	0.01	50261.83
1020	1795.33	1795.37	-0.05	47856.02
1070	1795.06	1795.15	-0.09	54558.98
1130	1794.90	1794.89	0.01	43296.81
1180	1794.63	1794.67	-0.05	49596.94
1240	1794.46	1794.42	0.04	54915.76
1310	1794.12	1794.13	-0.02	52056.36
1380	1793.86	1793.86	0.00	49480.06
1450	1793.56	1793.58	-0.03	47146.78
1520	1793.29	1793.32	-0.02	51293.29
1600	1793.02	1793.02	0.00	48790.16
1680	1792.72	1792.73	-0.01	52185.75
1770	1792.47	1792.41	0.05	49596.94
1860	1792.13	1792.11	0.02	47252.88
1950	1791.77	1791.81	-0.03	50010.42
2050	1791.43	1791.49	-0.05	47628.05
2150	1791.20	1791.18	0.03	49896.97
2260	1790.84	1790.85	-0.01	51735.67
2380	1790.39	1790.50	-0.11	49190.24
2500	1790.21	1790.17	0.05	46883.59
2620	1789.87	1789.84	0.03	52056.36
2760	1789.49	1789.48	0.00	49480.06
2900	1789.12	1789.14	-0.02	47146.78
3040	1788.87	1788.80	0.06	51293.29

3200	1788.55	1788.44	0.11	48790.16
3360	1788.10	1788.09	0.01	49356.9
3530	1787.75	1787.73	0.02	49734.01
3710	1787.34	1787.37	-0.03	47377.28
3890	1786.99	1787.02	-0.03	50135.81
4090	1786.64	1786.65	-0.01	47741.76
4290	1786.29	1786.29	0.00	50010.42
4510	1785.85	1785.92	-0.06	49739.98
4740	1785.57	1785.54	0.02	49392.76
4980	1785.15	1785.17	-0.01	48981.39
5230	1784.72	1784.79	-0.07	48516.98
5490	1784.36	1784.42	-0.05	49743.82
5770	1783.96	1784.03	-0.07	49037.72
6060	1783.62	1783.66	-0.03	48318.58
6360	1783.22	1783.29	-0.07	49089.61
6680	1782.98	1782.91	0.07	49645.23
7020	1782.62	1782.53	0.09	48654.49
7370	1782.16	1782.16	0.00	48983.98
7740	1781.75	1781.79	-0.05	49159.24
8130	1781.41	1781.43	-0.02	49200.08
8540	1781.16	1781.06	0.09	48009.22
8960	1780.77	1780.72	0.06	49002.73
9410	1780.42	1780.36	0.05	49751.19
9890	1780.06	1780.01	0.05	48356.73
10380	1779.66	1779.67	-0.01	48881.91
10900	1779.37	1779.34	0.03	49226.94
11450	1779.03	1779.01	0.02	48582.2
12020	1778.65	1778.68	-0.03	49503.01
12630	1778.35	1778.36	-0.01	48677.05
13260	1777.99	1778.05	-0.06	48574.67
13920	1777.67	1777.75	-0.08	49063.8
14620	1777.43	1777.44	-0.02	48725.02
15350	1777.09	1777.15	-0.06	48945.26
16120	1776.88	1776.86	0.02	49026.46
16930	1776.56	1776.58	-0.02	48987.03
17780	1776.23	1776.31	-0.08	46162.04
18620	1776.03	1776.06	-0.03	46178.19
19500	1775.83	1775.83	0.01	46540.99
20429	1775.71	1775.60	0.11	45921.31
21389	1775.41	1775.39	0.01	45921.31

. Fuente Propia 2018

- Gráfica: Presión Observada – Presión Simulada Vs Presión

Gráfico 6: Presión Observada – Presión Simulada Vs Presión



Fuente Propia 2018.

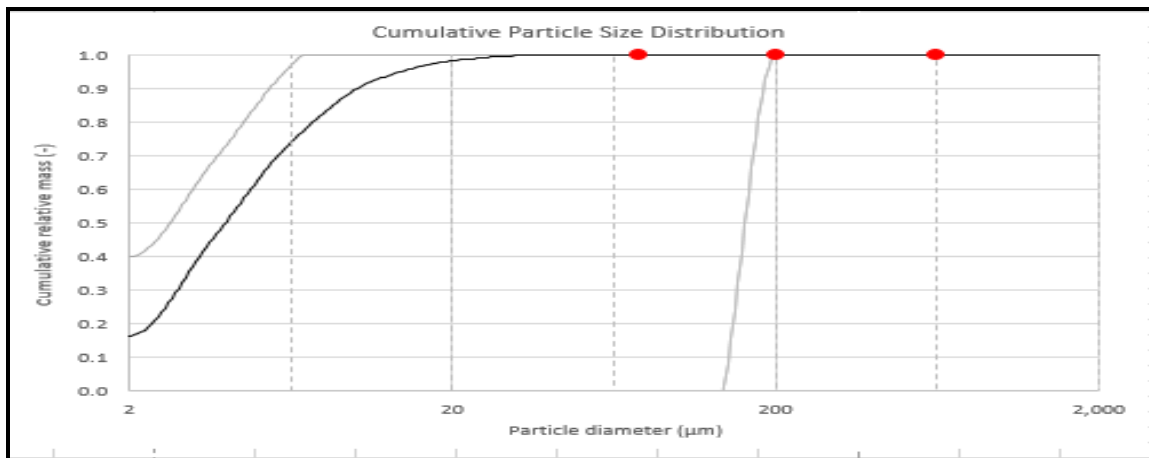
Tabla 21: Distribución de tamaño de partícula acumulada.

UMS DENSIMETER - Version 0.6.3				
Sample name		CaolinBlanco1		
CDF.OUT				
DP[μm]	LOG10(DP)	MAX-LIKELI	P2.5	P97.5
1.00E-02	-2.00E+00	0.00E+00	-1.71E-01	0.00E+00
1.02E-02	-1.99E+00	1.67E-03	-1.71E-01	6.73E-03
1.05E-02	-1.98E+00	3.34E-03	-1.71E-01	1.34E-02
1.08E-02	-1.97E+00	4.99E-03	-1.71E-01	2.00E-02
1.10E-02	-1.96E+00	6.64E-03	-1.71E-01	2.66E-02
1.13E-02	-1.95E+00	8.29E-03	-1.71E-01	3.31E-02
1.16E-02	-1.94E+00	9.93E-03	-1.71E-01	3.96E-02
1.19E-02	-1.93E+00	1.16E-02	-1.71E-01	4.60E-02
1.22E-02	-1.92E+00	1.32E-02	-1.71E-01	5.23E-02
1.25E-02	-1.90E+00	1.48E-02	-1.71E-01	5.86E-02
1.28E-02	-1.89E+00	1.64E-02	-1.71E-01	6.48E-02
1.31E-02	-1.88E+00	1.80E-02	-1.71E-01	7.10E-02
1.34E-02	-1.87E+00	1.96E-02	-1.71E-01	7.71E-02
1.37E-02	-1.86E+00	2.12E-02	-1.71E-01	8.32E-02
1.41E-02	-1.85E+00	2.28E-02	-1.71E-01	8.92E-02
1.44E-02	-1.84E+00	2.44E-02	-1.71E-01	9.52E-02
1.48E-02	-1.83E+00	2.59E-02	-1.71E-01	1.01E-01
1.52E-02	-1.82E+00	2.75E-02	-1.71E-01	1.07E-01
1.55E-02	-1.81E+00	2.91E-02	-1.71E-01	1.13E-01
1.59E-02	-1.80E+00	3.06E-02	-1.71E-01	1.19E-01
1.63E-02	-1.79E+00	3.22E-02	-1.71E-01	1.24E-01

fuentes propia. 2018

- Gráfica: Gráfica: Distribución de tamaño de partícula acumulada

Gráfico 7: Distribución de tamaño de partícula acumulada

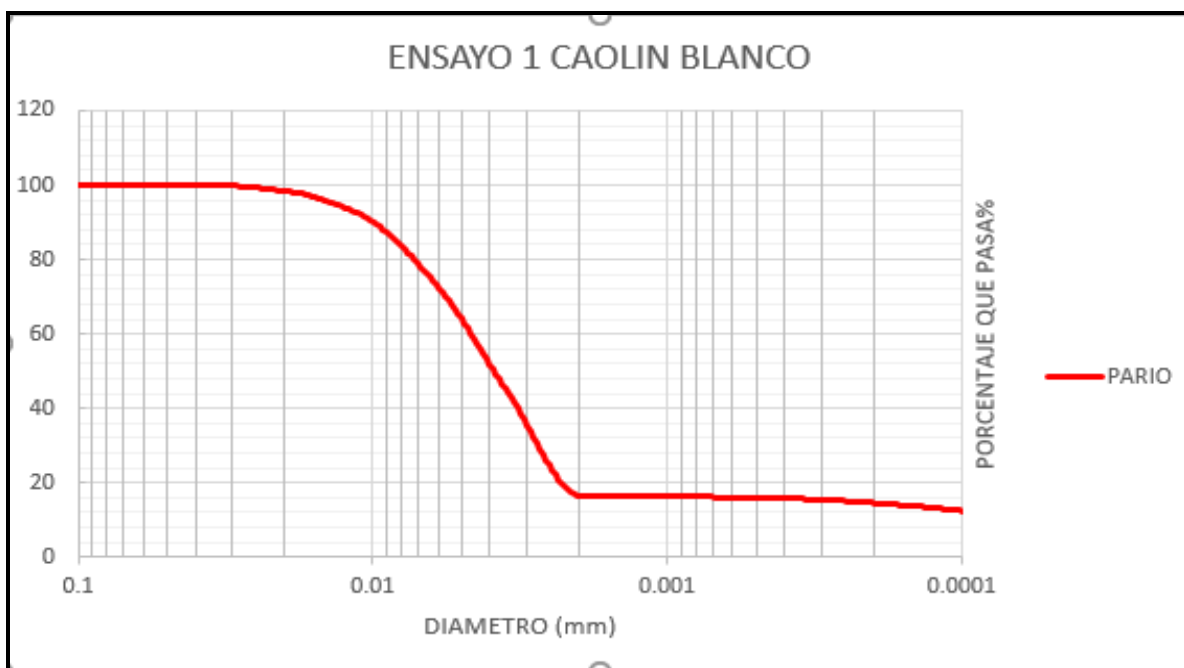


Fuente propia 2018.

- Gráfica: Porcentaje que pasa% Vs diámetro en (mm)

En la tabla de Distribución de tamaño de partícula acumulada se le hace una conversión para mostrar el grafico en mm y porcentaje que pasa%.

Gráfico 8: Porcentaje que pasa% Vs diámetro en (mm)

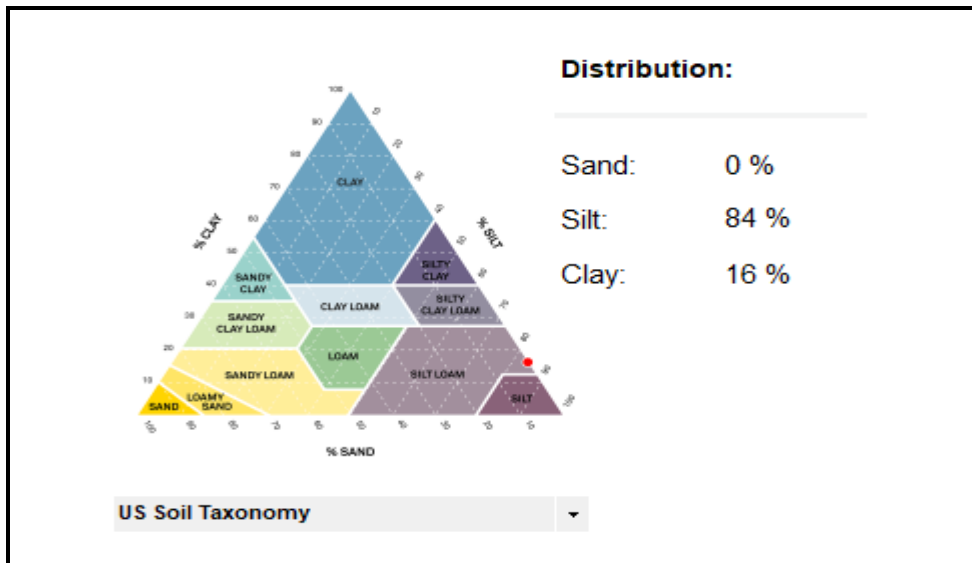


fuente propia 2018.

- **Clasificación de la muestra:**

La clasificación de la muestra son los resultados que se obtienen después del análisis del software del equipo pario, que lo hace con un gráfico del triángulo de feret.

Gráfico 9: Distribución de la muestra

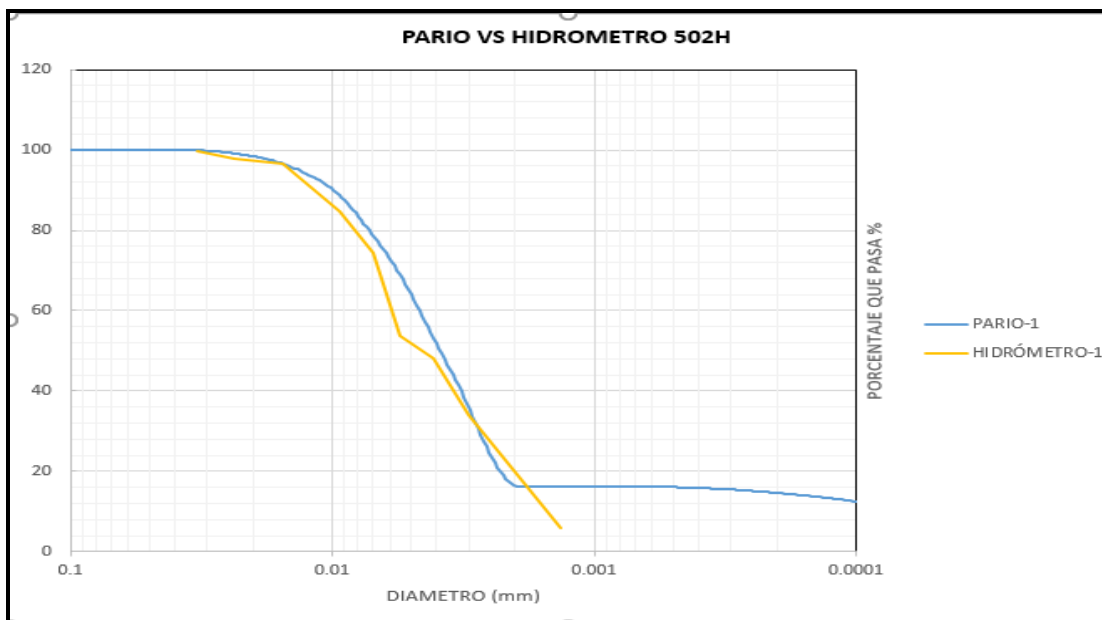


fuentes propia 2018.

- **Pario vs hidrómetro convencional.**

Comparación grafica del primer ensayo realizado con el equipo pario y con el hidrómetro convencional 502 h.

Gráfico 10: Pario vs hidrómetro 502h.



fuentes propia 2018.

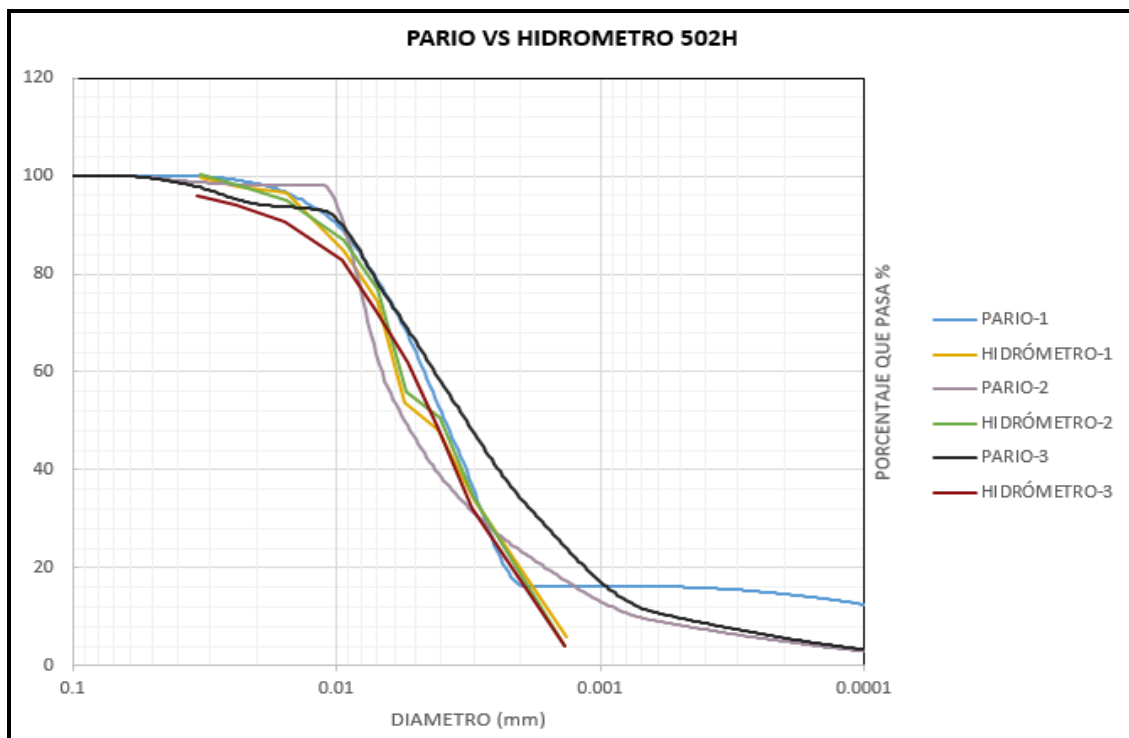
Los resultados obtenidos del ensayo granulométrico con el hidrometro convencional y el equipo pario, arroja dos curvas. las cuales estan representadas en el grafico 9, se visualiza que la curva del equipo pario tiene una mayor precisión con respecto a la del otro ensayo.

El equipo pario tomo 499 lecturas para realizar la curva granulometrica donde arroja 84% de limos, 16% de arcillas y 0% de arenas, se puede visualizar en la grafica 8.

En el ensayo por el hidrometro 502h, se realizan 9 lecturas donde arrojó 88.88% de limos, 11.11% de gravas y 0% de arenas se se puede ver en la tabla 16.

Se tomaron los resultados de los diferentes ensayos practicados al caolin blanco y se unieron en una sola grafica para su analisis.

Gráfico 11: Pario vs Hidrómetro, compilado



fuentes propia 2018.

Se observa que las curvas granulométricas del equipo pario son de mayor rango, tiene una considerable caracterización de datos con respecto al otro ensayo.

Los tiempos en que fueron tomadas las lecturas del equipo pario son de un rango de 10 segundos durante 24 horas, lo que permite tener certeza en la curva. Se evidencia mejor tendencia en la curva del equipo pario.

9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

- Ventajas:

Equipo convencional:

- Es un ensayo fácil de comprender, está regido por una norma específica donde también muestra los pasos a seguir y los cálculos necesarios para obtener óptimos resultados una vez finalizado el laboratorio.
- La norma ya viene con estándares internacionales, porque se basa en la norma ASTM.
- Es sencillo encontrar información con respecto a este ensayo, ya que se ha venido utilizando por bastante tiempo.
- Se pueden realizar varios ensayos al tiempo, por su costo es asequible.

Equipo pario:

- Es un ensayo confiable ya que por la cantidad de mediciones se hace preciso en los resultados, el error aproximado de la detección de esta fracción es más o menos del 3%. El error con los hidrómetros convencionales puede llegar hasta un 10%. Este sistema ya sería una mejora muy importante respecto a los métodos convencionales.
- El equipo es totalmente automatizado y no necesita una supervisión, solo se procesa los resultados en un software para hacer su respectivo análisis. El sistema está configurado para que reconozca los datos ingresados inicialmente para todos los ensayos que se van a realizar de la misma muestra.
- Registra cambio de presión y temperatura y esto da como resultado mejor curvas de distribución.
- Ahorra tiempo, porque es fácil de visualizar y de obtener los datos para su análisis.
- Sus cálculos son automáticos.
- La curva tiene un mayor rango y la información mostrada es concluyente.
- Mide la presión hidrostática y la convierte en granulometría.

- Desventajas:

Equipo convencional:

- Se toman muy pocas lecturas
- No es confiable y carece de precisión.

- Tiene alta probabilidad de imprecisión, al ser manipulado cada vez que se toma una lectura el error puede llegar hasta un 10%.
- Las lecturas de datos son muy inciertas.

Equipo pario.

- Su costo.
- Efecto “caja negra”

10. CONCLUSIONES.

Al implementar el equipo pario para realizar los ensayos de hidrometría se evidencio su funcionalidad, precisión, automatización de un ensayo que se venía trabajando de una manera convencional, y con un margen de error alto. El equipo permite una lectura veraz y confiable en menos tiempo, además de implementar un software que permite mejor compresión del ensayo.

Al realizar los ensayos, se destacó el equipo pario significativamente por sus ventajas en el ahorro de tiempo, en la toma de datos, en la implementación de sus gráficas y su información detallada de clasificación de la muestra, presiones y temperatura que de otro modo no sería fácil evidenciar.

Implementando un ensayo diferente al hidrómetro convencional, resulto interesante comparar dos fuentes de información para obtener diferentes datos e interpretar cada uno para llegar a una mejor decisión.

La curva granulométrica del equipo pario tiene una mayor caracterización, sus lecturas tienen un rango amplio y la toma de datos lo hace cada 10 segundos. Mide cómo va cambiando la presión hidrostática pasándola a tamaños de partícula y lo vuelve una granulometría.

11. RECOMENDACIONES.

Para materiales caolíníticos que tienen cierto potencial de intercambio iónico, se recomienda usar valores bajos de material arcilloso. Para garantizar una mezcla homogénea con el defloculante.

Se recomienda tener una muestra igual a la que se está realizando en el ensayo, esto con el fin de poder hacer el tamizado a las arenas y tener la representatividad, al ser una mezcla homogénea la dos muestras deben concordar con las proporciones. Este dato se debe ingresar en el equipo pario, lo que se recomienda es que se realice al inicio del ensayo. Esto con el fin de evitar recalcular.

Se recomienda a la Universidad Católica De Colombia adquirir otro equipo pario, esto con el fin de poder realizar varios ensayos a la vez, ya que al tener un solo equipo este solo puede realizar un solo ensayo cada 24 horas.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. **Tinoco, Antonio Mosquera.** Identificación de Arcillas Expansivas. *Identificación de Arcillas Expansivas*. Mexico : s.n., diciembre de 1986.
2. **Díaz, Wilmar Andres Botia.** Manual De Procedimientos de Ensayos De Suelos Y Memoria De Cálculo . *trabajo de grado*. Bogota : s.n., 2015.
3. **Gee, G. W. y Bauder, J. W.** Methods of Soil analysis: Physical and mineralogical methods. *Methods of Soil analysis: Physical and mineralogical methods*. Madison : American Society of Agronomy., 1986.
4. **manual, PARIO user.** PARIO user manual. *PARIO user manual*. [En línea] 06 de 2017. [Citado el: 19 de 03 de 2018.] <https://geomor.com.pl/wp-content/uploads/2017/09/PARIO-Manual.pdf>.
5. **caminos.udc.es.** Arcillas. *Documento*.
6. **Eguis, Alexandra Carolina Sierra Sosa y Kelly Johanna Escudero.** DETERMINACION DEL GRADO DE DISPERSIVIDAD EN SUELOSCAOLINITICOS MODIFICADOS CON SALES DE POTASIO Y CALCIO. *Proyecto de grado*. Bogota : s.n., 2016.
7. **Calderon, Breidy Julieth Parrado morera y Julieth Tatiana Toloza.** DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA EN SUELOS CAOLINÍTICOS Y BENTONÍTICOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE ADSORCIÓN DE AGUA DESTILADA APLICANDO DIFERENTES GRADIENTES TÉRMICOS. *poroyecto de grado*. Bogota : s.n., 2017.
8. **Barbosa Basto, Crithian Geovanny.** Determinación de la superficie especifica en suelos caoliníticos y bentoníticos mediante la aplicación de adsorción de azul de metileno aplicando diferentes gradientes térmicos. *Proyecto de grado*. Bogota : s.n., 2017.
9. **Fajardo Rodríguez, Brahayán Steven.** Sistema para la medición de la humedad gravimétrica en suelos bentoníticos y caoliníticos. *Proyecto de grado*. Bogota : s.n., 2018.
10. **METER Environment.** Automated Particle Size Analysis . *Automated Particle Size Analysis* . [En línea] 2017. [Citado el: 25 de 03 de 2018.] <https://www.metergroup.com/environment/products/pario/>.
11. **Gonzalo Duque, Carlos Escobar.** *Mecanica de los suelos*. Manizales : universidad nacional, 2002.
12. **Nieto, Luis marti.** *Mecànica de suelos*. Guayaquil : s.n., 1991.
13. **Juares Badillo, Rico Rodriguez.** *Mecanica de Suelos*. Mexico : Limusa S.A., 2005.

14. **ENVIRONMENT, METER.** PARIO reduces time spent on particle-size analysis. *PARIO reduces time spent on particle-size analysis*. [En línea] 2017. [Citado el: 29 de 03 de 2018.] <https://www.metergroup.com/news/environment/pario-reduces-time-spent-on-particle-size-analysis/>.
15. **Emilia Garcia Romero, Mercedes Suares Barrios.** LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS. *paper*. Madrid : s.n., 2018.
16. **"INVIAS".** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO. *norma* . Bogota : s.n.
17. **Wolfgang Durner (1), Magdalena Huber (2), Li Yangxu (1), Andi Steins (3), Thomas Pertassek (3), Axel Göttlein y Dumer, Wolfgang.** *Testing the ISP method with the PARIO device: Accuracy of results and influence of homogenization technique*. Germany : Geophysical Research Abstracts, 2017.
18. **Alina Miller (1), Thomas Pertassek (1), Andreas Steins (1), Wolfgang Durner (2), Axel Göttlein (3), Wolfgang Petrik (3), and Georg von Unold (1).** *The new PARIOTM device for determining continuous particle-size distributions of soils and sediments*. Germany : Geophysical Research Abstracts, 2017. Vol. 19, EGU2017-16452-1, 2017.
19. **Yuli Liu (1, 2), Stefan Buehler (2), and Heguang Liu (1).** *A retrieval algorithm of hydrometer profile for submillimeter-wave radiometer*. Germany : Geophysical Research Abstracts, 2017. Vol. 19, EGU2017-17642, 2017.
20. **Colombia., Instituto Nacional de Vías de.** *Instituto Nacional de Vías de Colombia. INVÍAS*. Colombia : INVÍAS., I.N.V.E - 124 -07. I.N.V. E – 124 – 07.
21. **Torres, Alvaro Ignacio Covo.** *Mecánica de Suelos*. cartagena : universidad de cartagena, 2004.
22. **07, INVIAS I.N.V. E – 122 –.** DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO. *DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO*. 2017. I.N.V. E – 122 – 07. I.N.V. E – 122 – 07.
23. **INVIAS.** DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL I.N.V. E - 128. *DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL I.N.V. E - 128*. COLOMBIA : s.n., 2017.

13. FIRMAS DE LOS ESTUDIANTES

Firma de estudiante 1

Gloria Gutiérrez Cala

Código: 504713.

Firma de estudiante 2

Luis Giovanni Sarmiento

Código: 504955.

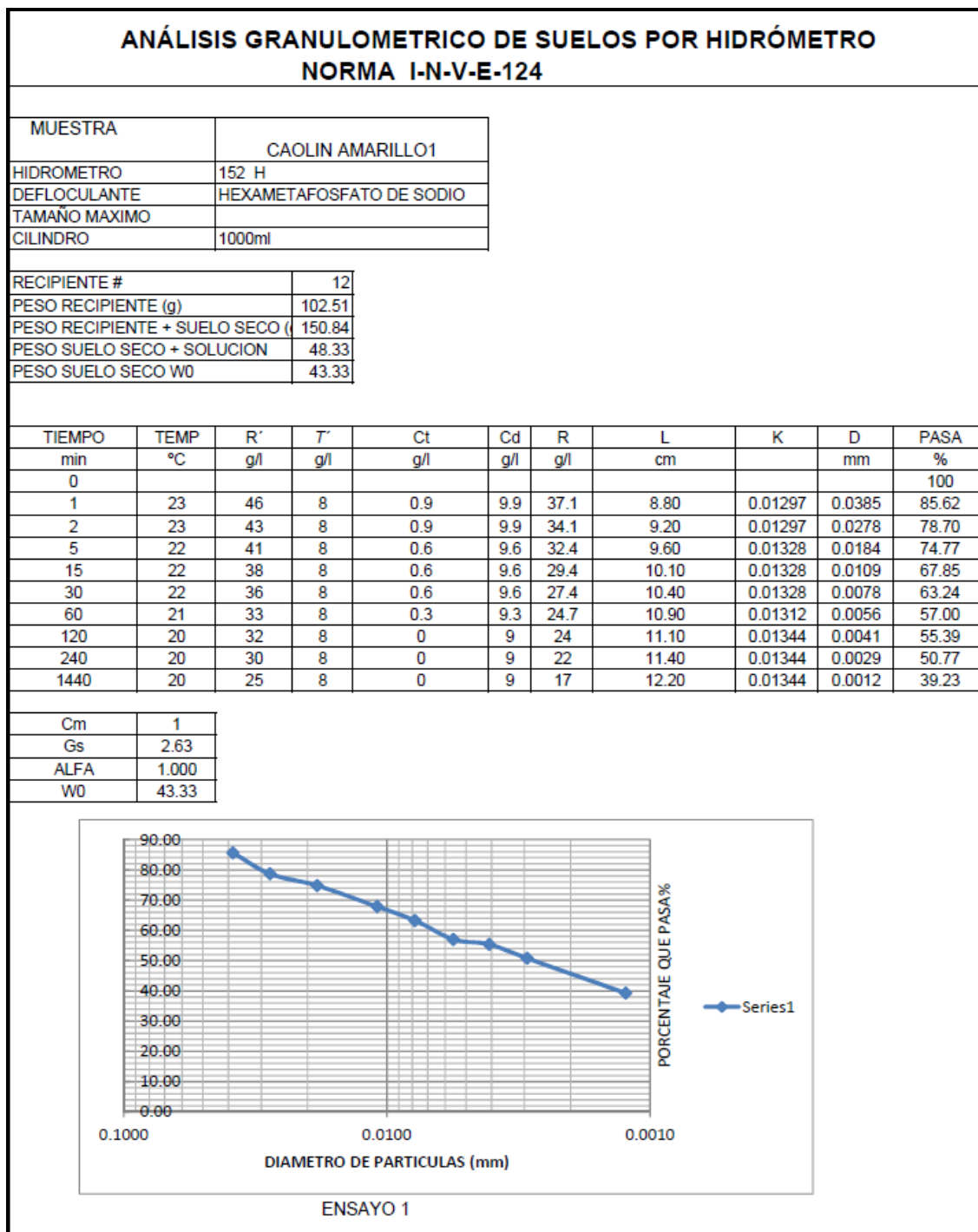
Fecha de presentación: 20 de noviembre de 2018.

14. FIRMA DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Firma director del trabajo de Grado
Juan Carlos Ruge Cárdenas.

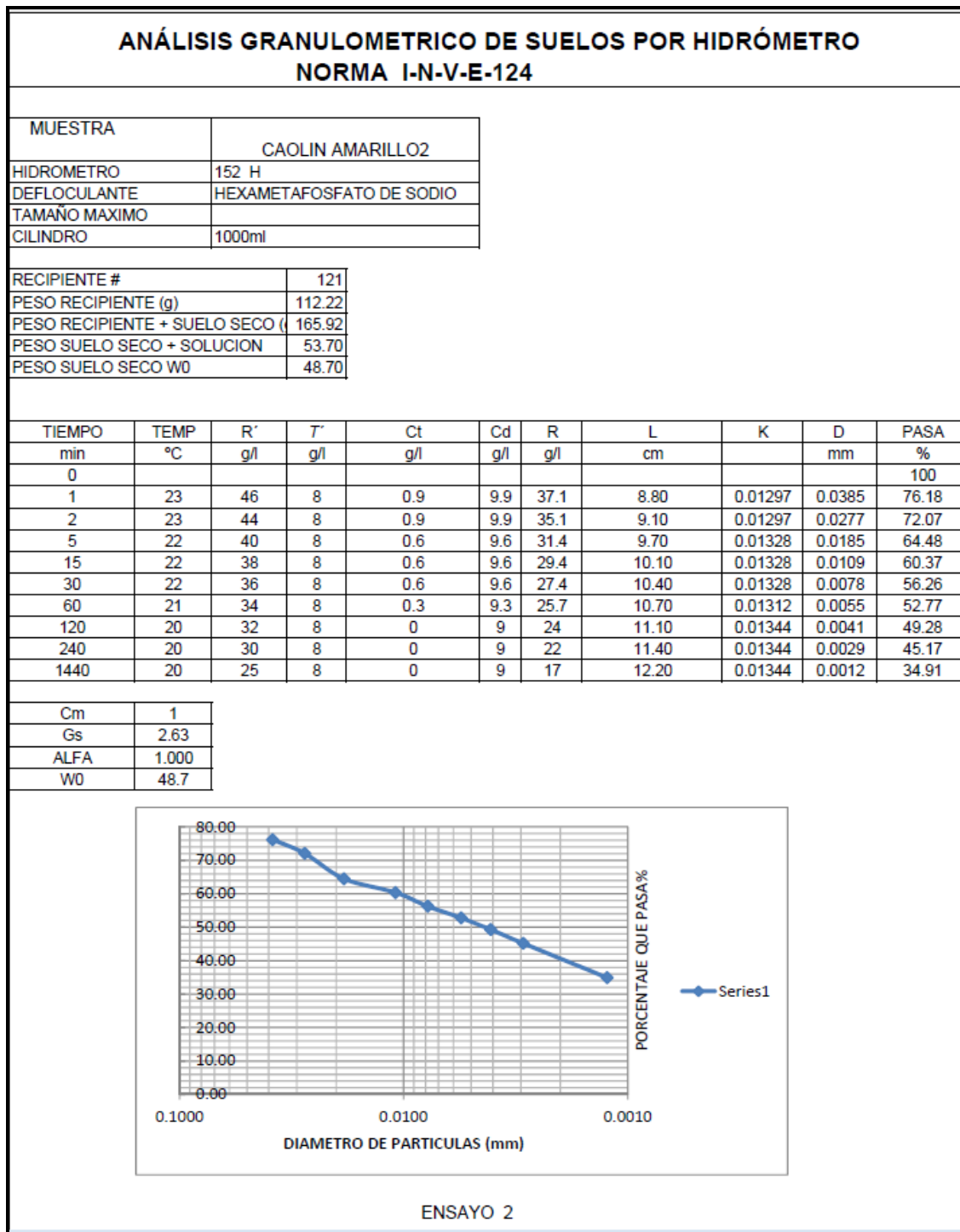
15. ANEXOS.

Tabla 22: Ensayo N°1 Hidrómetro Convencional.



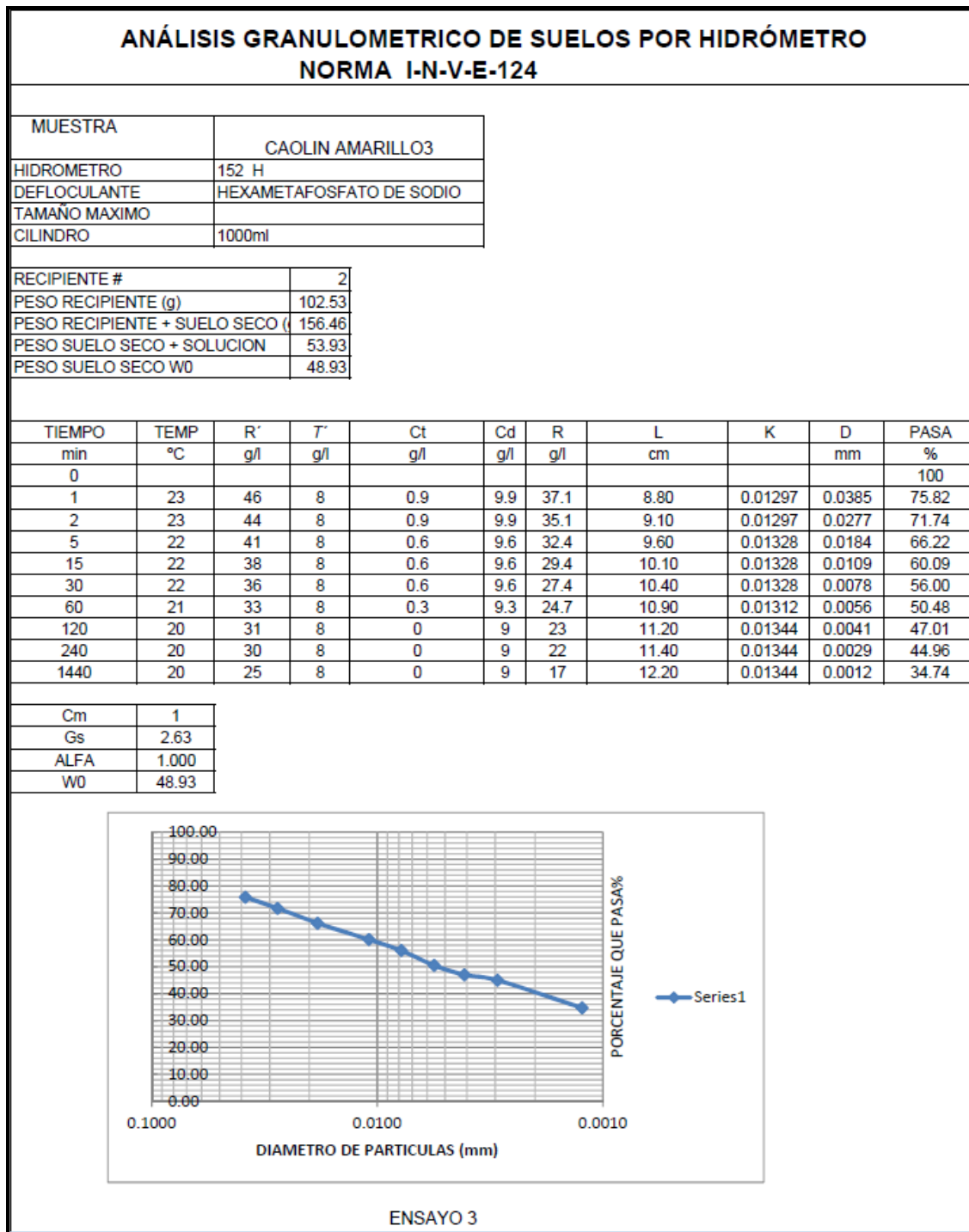
Fuente propia 2018

Tabla 23: Ensayo N°2 Hidrómetro Convencional.



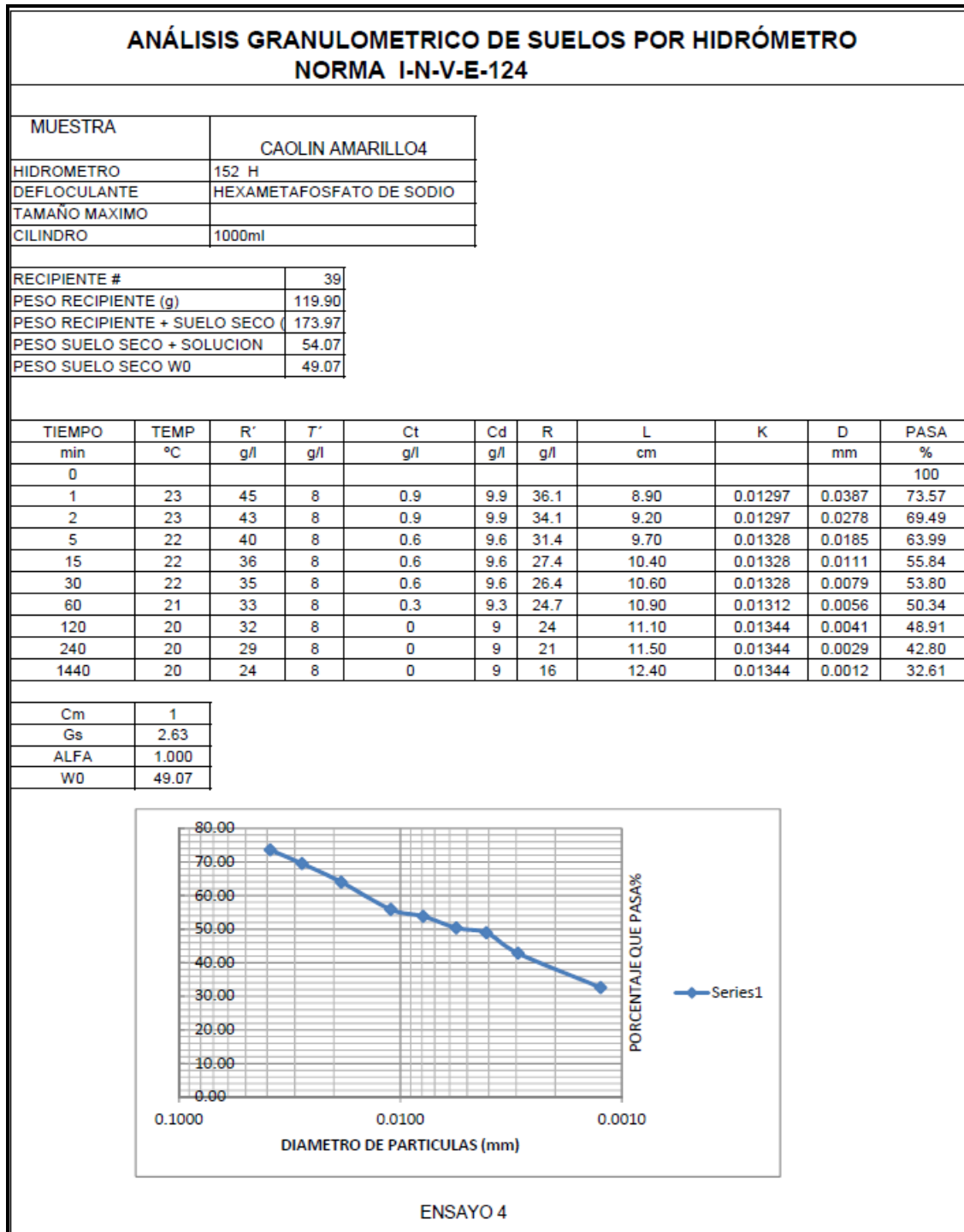
Fuente propia 2018

Tabla 24: Ensayo 3.



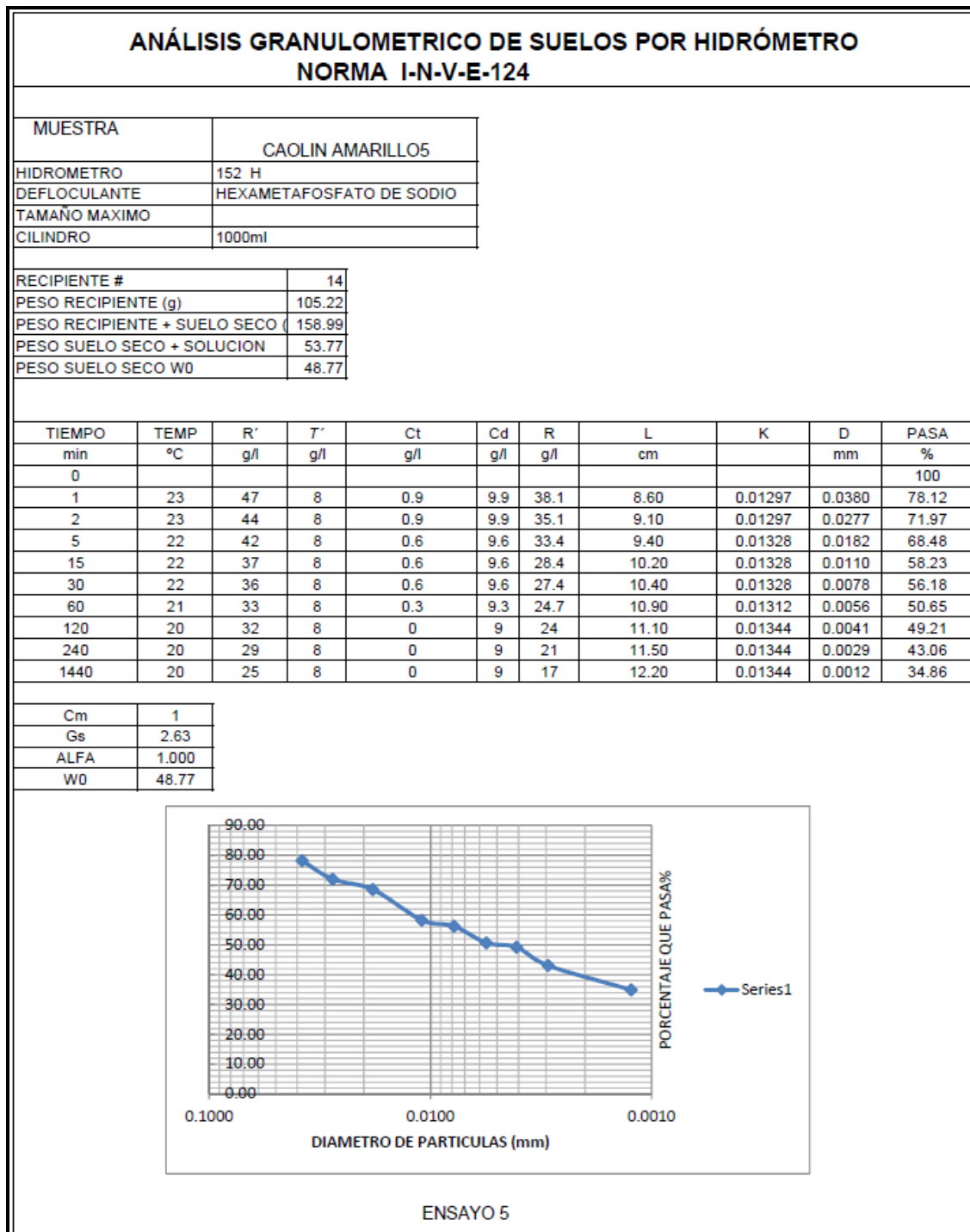
Fuente propia 2018

Tabla 25: Ensayo N°4 Hidrómetro Convencional.



Fuente propia 2018

Tabla 26: Ensayo N°5 Hidrómetro Convencional.



ENSAYO 5

Fuente propia 2018

Ensayo Equipo Pario.

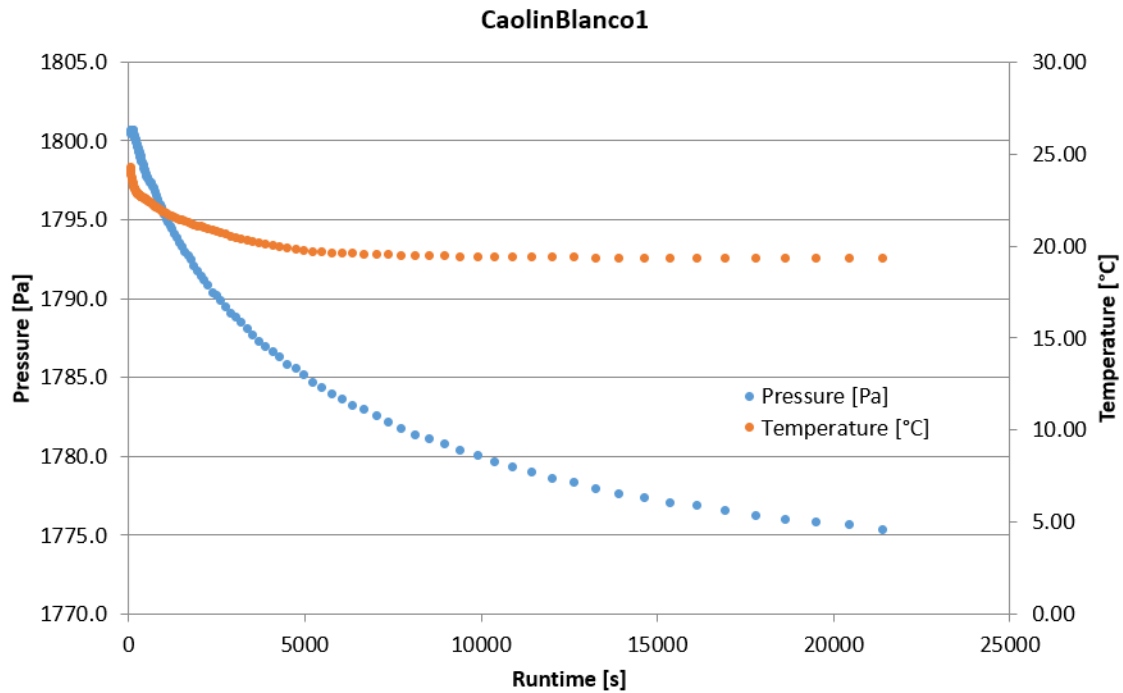
Tabla 27: Tiempo - Presión observada – Presión Simulada – presión -Peso.

UMS DENSIMETER - Versión 0.6.3			
File name		CaolinBlanco1	
MEASURED DATA			
Date/Time	Runtime [s]	Temperature [°C]	Pressure [Pa]
4/9/18 14:25:08	50.0	24.32	1800.7
4/9/18 14:25:18	60.0	24.15	1800.5
4/9/18 14:25:28	70.0	23.99	1800.6
4/9/18 14:25:38	80.0	23.84	1800.6
4/9/18 14:25:48	90.0	23.71	1800.5
4/9/18 14:25:58	100.0	23.61	1800.7
4/9/18 14:26:08	110.0	23.51	1800.7
4/9/18 14:26:18	120.0	23.42	1800.7
4/9/18 14:26:28	130.0	23.34	1800.7
4/9/18 14:26:38	140.0	23.27	1800.5
4/9/18 14:26:48	150.0	23.21	1800.4
4/9/18 14:26:58	160.0	23.16	1800.4
4/9/18 14:27:08	170.0	23.11	1800.2
4/9/18 14:27:18	180.0	23.07	1800.2
4/9/18 14:27:28	190.0	23.03	1800.1
4/9/18 14:27:38	200.0	23.00	1800.1
4/9/18 14:27:48	210.0	22.97	1800.0
4/9/18 14:27:58	220.0	22.94	1799.9
4/9/18 14:28:08	230.0	22.91	1799.8
4/9/18 14:28:18	240.0	22.89	1799.7
4/9/18 14:28:28	250.0	22.87	1799.7
4/9/18 14:28:38	260.0	22.85	1799.6
4/9/18 14:28:48	270.0	22.83	1799.5
4/9/18 14:28:58	280.0	22.81	1799.4
4/9/18 14:29:08	290.0	22.79	1799.3
4/9/18 14:29:18	300.0	22.78	1799.3
4/9/18 14:29:28	310.0	22.76	1799.2
4/9/18 14:29:38	320.0	22.75	1799.0
4/9/18 14:29:48	330.0	22.73	1799.1
4/9/18 14:29:58	340.0	22.72	1798.8
4/9/18 14:30:08	350.0	22.71	1799.0
4/9/18 14:30:18	360.0	22.69	1798.8
4/9/18 14:30:28	370.0	22.68	1798.7
4/9/18 14:30:48	390.0	22.66	1798.6

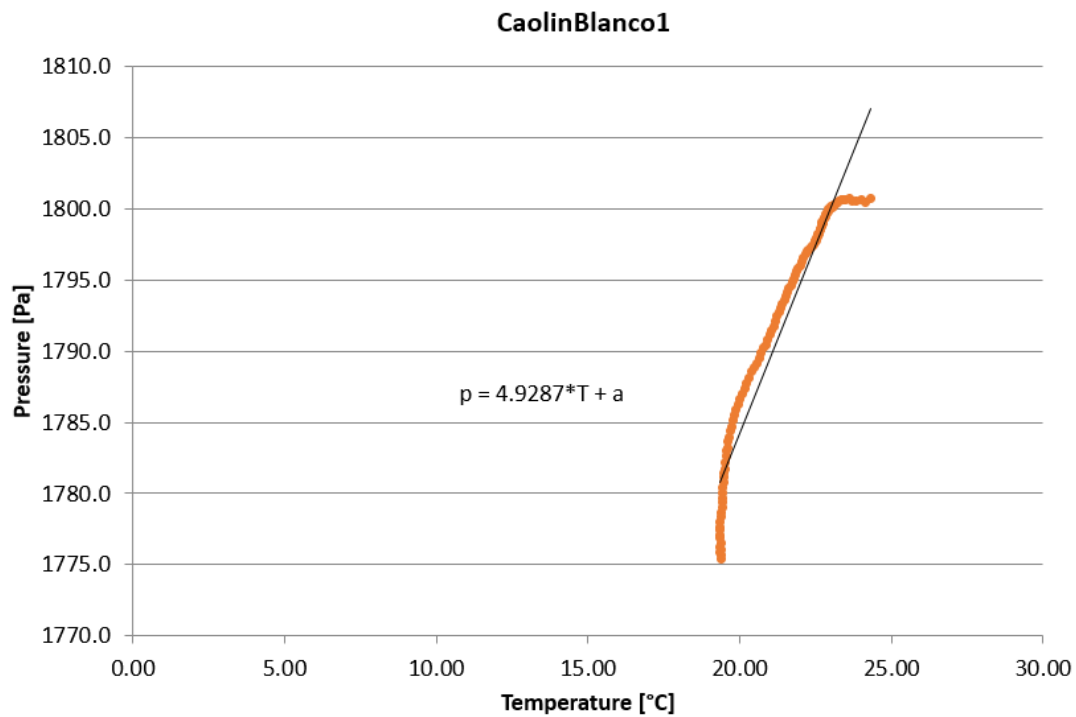
4/9/18 14:31:08	410.0	22.64	1798.5
4/9/18 14:31:28	430.0	22.61	1798.2
4/9/18 14:31:48	450.0	22.59	1798.2
4/9/18 14:32:08	470.0	22.57	1798.1
4/9/18 14:32:28	490.0	22.54	1797.9
4/9/18 14:32:48	510.0	22.52	1797.8
4/9/18 14:33:08	530.0	22.49	1797.7
4/9/18 14:33:28	550.0	22.47	1797.7
4/9/18 14:33:58	580.0	22.43	1797.5
4/9/18 14:34:28	610.0	22.38	1797.4
4/9/18 14:34:58	640.0	22.33	1797.3
4/9/18 14:35:38	680.0	22.27	1797.1
4/9/18 14:36:08	710.0	22.22	1797.0
4/9/18 14:36:48	750.0	22.16	1796.8
4/9/18 14:37:28	790.0	22.10	1796.6
4/9/18 14:38:08	830.0	22.05	1796.3
4/9/18 14:38:58	880.0	21.98	1796.0
4/9/18 14:39:38	920.0	21.93	1795.8
4/9/18 14:40:28	970.0	21.88	1795.6
4/9/18 14:41:18	1020.0	21.83	1795.3
4/9/18 14:42:08	1070.0	21.78	1795.0
4/9/18 14:43:08	1130.0	21.72	1794.9
4/9/18 14:43:58	1180.0	21.68	1794.6
4/9/18 14:44:58	1240.0	21.62	1794.4
4/9/18 14:46:08	1310.0	21.57	1794.1
4/9/18 14:47:18	1380.0	21.51	1793.8
4/9/18 14:48:28	1450.0	21.46	1793.5
4/9/18 14:49:38	1520.0	21.41	1793.3
4/9/18 14:50:58	1600.0	21.35	1793.0
4/9/18 14:52:18	1680.0	21.29	1792.7
4/9/18 14:53:48	1770.0	21.23	1792.5
4/9/18 14:55:18	1860.0	21.18	1792.1
4/9/18 14:56:48	1950.0	21.12	1791.8
4/9/18 14:58:28	2050.0	21.06	1791.4
4/9/18 15:00:08	2150.0	20.99	1791.2
4/9/18 15:01:58	2260.0	20.93	1790.8
4/9/18 15:03:58	2380.0	20.86	1790.4
4/9/18 15:05:58	2500.0	20.79	1790.2
4/9/18 15:07:58	2620.0	20.72	1789.9
4/9/18 15:10:18	2760.0	20.64	1789.5
4/9/18 15:12:38	2900.0	20.56	1789.1

4/9/18 15:14:58	3040.0	20.48	1788.9
4/9/18 15:17:38	3200.0	20.40	1788.5
4/9/18 15:20:18	3360.0	20.32	1788.1
4/9/18 15:23:08	3530.0	20.24	1787.7
4/9/18 15:26:08	3710.0	20.16	1787.3
4/9/18 15:29:08	3890.0	20.08	1787.0
4/9/18 15:32:28	4090.0	20.01	1786.6
4/9/18 15:35:48	4290.0	19.94	1786.3
4/9/18 15:39:28	4510.0	19.88	1785.8
4/9/18 15:43:18	4740.0	19.83	1785.6
4/9/18 15:47:18	4980.0	19.78	1785.1
4/9/18 15:51:28	5230.0	19.73	1784.7
4/9/18 15:55:48	5490.0	19.69	1784.4
4/9/18 16:00:28	5770.0	19.65	1784.0
4/9/18 16:05:18	6060.0	19.62	1783.6
4/9/18 16:10:18	6360.0	19.60	1783.2
4/9/18 16:15:38	6680.0	19.58	1783.0
4/9/18 16:21:18	7020.0	19.56	1782.6
4/9/18 16:27:08	7370.0	19.53	1782.2
4/9/18 16:33:18	7740.0	19.51	1781.7
4/9/18 16:39:48	8130.0	19.49	1781.4
4/9/18 16:46:38	8540.0	19.47	1781.2
4/9/18 16:53:38	8960.0	19.46	1780.8
4/9/18 17:01:08	9410.0	19.45	1780.4
4/9/18 17:09:08	9890.0	19.44	1780.1
4/9/18 17:17:18	10380.0	19.43	1779.7
4/9/18 17:25:58	10900.0	19.42	1779.4
4/9/18 17:35:08	11450.0	19.41	1779.0
4/9/18 17:44:38	12020.0	19.40	1778.7
4/9/18 17:54:48	12630.0	19.38	1778.3
4/9/18 18:05:18	13260.0	19.36	1778.0
4/9/18 18:16:18	13920.0	19.36	1777.7
4/9/18 18:27:58	14620.0	19.35	1777.4
4/9/18 18:40:08	15350.0	19.36	1777.1
4/9/18 18:52:58	16120.0	19.35	1776.9
4/9/18 19:06:28	16930.0	19.37	1776.6
4/9/18 19:20:38	17780.0	19.36	1776.2
4/9/18 19:34:38	18620.0	19.38	1776.0
4/9/18 19:49:18	19500.0	19.37	1775.8
4/9/18 20:04:47	20429.0	19.37	1775.7
4/9/18 20:20:47	21389.0	19.37	1775.4

Fuente Propia 2018



Fuente Propia 2018

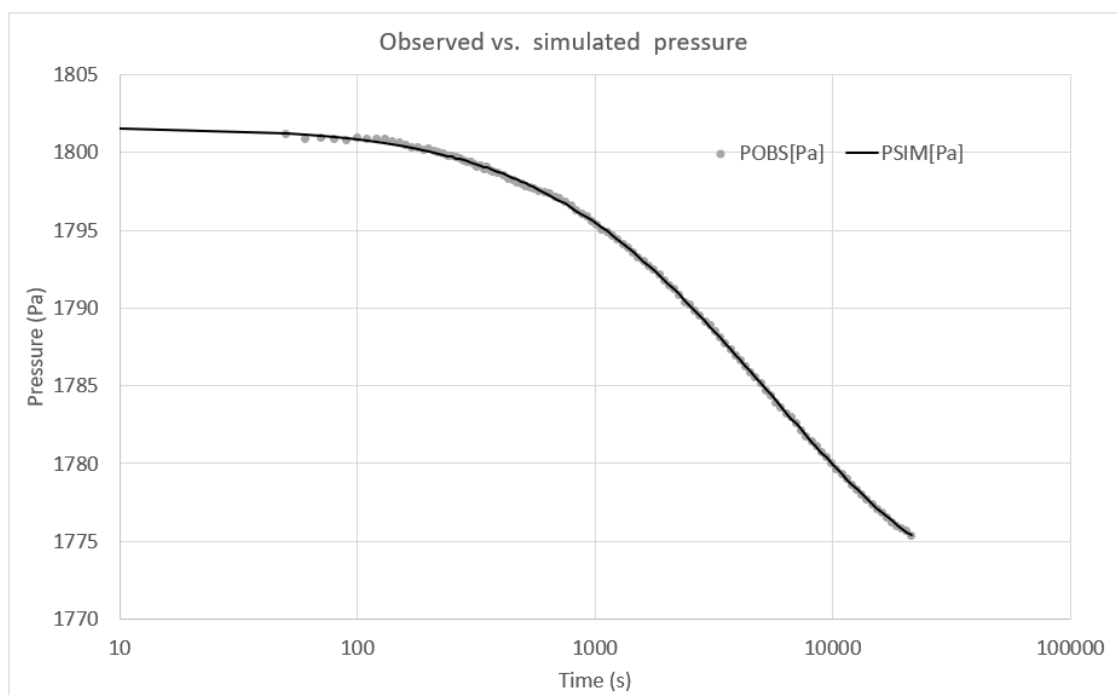


Fuente Propia 2018

UMS DENSIOMETER - Version 0.6.3				
Sample name		CaolinBlanco1		
MODELSIM.OUT				
TIME[S]	POBS[Pa]	PSIM[Pa]	RES[Pa]	WEIGHT[Pa^(-2)]
0.01		1801.65		0
0.32		1801.62		0
1		1801.61		0
3.16		1801.61		0
10		1801.56		0
50	1801.20	1801.26	-0.06	182321.56
60	1800.88	1801.18	-0.30	154150.68
70	1800.96	1801.10	-0.14	133531.39
80	1800.88	1801.02	-0.14	117783.04
90	1800.82	1800.94	-0.12	105360.52
100	1800.96	1800.86	0.10	95310.18
110	1800.89	1800.78	0.11	87011.38
120	1800.87	1800.70	0.17	80042.71
130	1800.85	1800.62	0.23	74107.97
140	1800.72	1800.54	0.18	68992.87
150	1800.61	1800.46	0.15	64538.52
160	1800.52	1800.38	0.14	60624.62
170	1800.37	1800.30	0.06	57158.41
180	1800.33	1800.23	0.10	54067.22
190	1800.20	1800.15	0.05	51293.29
200	1800.26	1800.08	0.19	48790.16
210	1800.07	1800.00	0.07	46520.02
220	1800.05	1799.93	0.13	44451.76
230	1799.91	1799.85	0.06	42559.61
240	1799.81	1799.78	0.03	40821.99
250	1799.81	1799.71	0.10	39220.71
260	1799.69	1799.63	0.06	37740.33
270	1799.62	1799.56	0.06	36367.64
280	1799.47	1799.49	-0.02	35091.32
290	1799.41	1799.42	-0.01	33901.55
300	1799.37	1799.35	0.01	32789.82
310	1799.24	1799.28	-0.04	31748.7
320	1799.06	1799.22	-0.15	30771.66
330	1799.15	1799.15	0.00	29852.96
340	1798.92	1799.08	-0.16	28987.54
350	1799.10	1799.02	0.08	28170.88
360	1798.82	1798.95	-0.13	27398.97
370	1798.81	1798.88	-0.08	52643.73
390	1798.68	1798.76	-0.07	50010.42
410	1798.57	1798.63	-0.06	47628.05

430	1798.28	1798.50	-0.23	45462.37
450	1798.26	1798.38	-0.12	43485.11
470	1798.11	1798.26	-0.15	41672.7
490	1797.98	1798.13	-0.16	40005.33
510	1797.84	1798.01	-0.18	38466.28
530	1797.76	1797.90	-0.14	37041.27
550	1797.72	1797.78	-0.06	53109.83
580	1797.56	1797.61	-0.04	50430.85
610	1797.43	1797.44	0.00	48009.22
640	1797.37	1797.27	0.10	60624.62
680	1797.13	1797.05	0.08	43172.17
710	1797.07	1796.89	0.18	54808.24
750	1796.82	1796.68	0.14	51959.74
790	1796.60	1796.47	0.12	49392.76
830	1796.32	1796.27	0.04	58496.21
880	1796.05	1796.03	0.02	44451.76
920	1795.87	1795.84	0.03	52922.4
970	1795.61	1795.60	0.01	50261.83
1020	1795.33	1795.37	-0.05	47856.02
1070	1795.06	1795.15	-0.09	54558.98
1130	1794.90	1794.89	0.01	43296.81
1180	1794.63	1794.67	-0.05	49596.94
1240	1794.46	1794.42	0.04	54915.76
1310	1794.12	1794.13	-0.02	52056.36
1380	1793.86	1793.86	0.00	49480.06
1450	1793.56	1793.58	-0.03	47146.78
1520	1793.29	1793.32	-0.02	51293.29
1600	1793.02	1793.02	0.00	48790.16
1680	1792.72	1792.73	-0.01	52185.75
1770	1792.47	1792.41	0.05	49596.94
1860	1792.13	1792.11	0.02	47252.88
1950	1791.77	1791.81	-0.03	50010.42
2050	1791.43	1791.49	-0.05	47628.05
2150	1791.20	1791.18	0.03	49896.97
2260	1790.84	1790.85	-0.01	51735.67
2380	1790.39	1790.50	-0.11	49190.24
2500	1790.21	1790.17	0.05	46883.59
2620	1789.87	1789.84	0.03	52056.36
2760	1789.49	1789.48	0.00	49480.06
2900	1789.12	1789.14	-0.02	47146.78
3040	1788.87	1788.80	0.06	51293.29
3200	1788.55	1788.44	0.11	48790.16
3360	1788.10	1788.09	0.01	49356.9
3530	1787.75	1787.73	0.02	49734.01

3710	1787.34	1787.37	-0.03	47377.28
3890	1786.99	1787.02	-0.03	50135.81
4090	1786.64	1786.65	-0.01	47741.76
4290	1786.29	1786.29	0.00	50010.42
4510	1785.85	1785.92	-0.06	49739.98
4740	1785.57	1785.54	0.02	49392.76
4980	1785.15	1785.17	-0.01	48981.39
5230	1784.72	1784.79	-0.07	48516.98
5490	1784.36	1784.42	-0.05	49743.82
5770	1783.96	1784.03	-0.07	49037.72
6060	1783.62	1783.66	-0.03	48318.58
6360	1783.22	1783.29	-0.07	49089.61
6680	1782.98	1782.91	0.07	49645.23
7020	1782.62	1782.53	0.09	48654.49
7370	1782.16	1782.16	0.00	48983.98
7740	1781.75	1781.79	-0.05	49159.24
8130	1781.41	1781.43	-0.02	49200.08
8540	1781.16	1781.06	0.09	48009.22
8960	1780.77	1780.72	0.06	49002.73
9410	1780.42	1780.36	0.05	49751.19
9890	1780.06	1780.01	0.05	48356.73
10380	1779.66	1779.67	-0.01	48881.91
10900	1779.37	1779.34	0.03	49226.94
11450	1779.03	1779.01	0.02	48582.2
12020	1778.65	1778.68	-0.03	49503.01
12630	1778.35	1778.36	-0.01	48677.05
13260	1777.99	1778.05	-0.06	48574.67
13920	1777.67	1777.75	-0.08	49063.8
14620	1777.43	1777.44	-0.02	48725.02
15350	1777.09	1777.15	-0.06	48945.26
16120	1776.88	1776.86	0.02	49026.46
16930	1776.56	1776.58	-0.02	48987.03
17780	1776.23	1776.31	-0.08	46162.04
18620	1776.03	1776.06	-0.03	46178.19
19500	1775.83	1775.83	0.01	46540.99
20429	1775.71	1775.60	0.11	45921.31
21389	1775.41	1775.39	0.01	45921.31



Fuente Propia 2018

UMS DENSIOMETER - Version 0.6.3				
Sample name		CaolinBlanco1		
CDF.OUT				
DP[μm]	LOG10(DP)	MAX-LIKELI	P2.5	P97.5
1.00E-02	-2.00E+00	0.00E+00	-1.71E-01	0.00E+00
1.02E-02	-1.99E+00	1.67E-03	-1.71E-01	6.73E-03
1.05E-02	-1.98E+00	3.34E-03	-1.71E-01	1.34E-02
1.08E-02	-1.97E+00	4.99E-03	-1.71E-01	2.00E-02
1.10E-02	-1.96E+00	6.64E-03	-1.71E-01	2.66E-02
1.13E-02	-1.95E+00	8.29E-03	-1.71E-01	3.31E-02
1.16E-02	-1.94E+00	9.93E-03	-1.71E-01	3.96E-02
1.19E-02	-1.93E+00	1.16E-02	-1.71E-01	4.60E-02
1.22E-02	-1.92E+00	1.32E-02	-1.71E-01	5.23E-02
1.25E-02	-1.90E+00	1.48E-02	-1.71E-01	5.86E-02
1.28E-02	-1.89E+00	1.64E-02	-1.71E-01	6.48E-02
1.31E-02	-1.88E+00	1.80E-02	-1.71E-01	7.10E-02
1.34E-02	-1.87E+00	1.96E-02	-1.71E-01	7.71E-02
1.37E-02	-1.86E+00	2.12E-02	-1.71E-01	8.32E-02
1.41E-02	-1.85E+00	2.28E-02	-1.71E-01	8.92E-02
1.44E-02	-1.84E+00	2.44E-02	-1.71E-01	9.52E-02
1.48E-02	-1.83E+00	2.59E-02	-1.71E-01	1.01E-01
1.52E-02	-1.82E+00	2.75E-02	-1.71E-01	1.07E-01
1.55E-02	-1.81E+00	2.91E-02	-1.71E-01	1.13E-01

1.59E-02	-1.80E+00	3.06E-02	-1.71E-01	1.19E-01
1.63E-02	-1.79E+00	3.22E-02	-1.71E-01	1.24E-01
1.67E-02	-1.78E+00	3.37E-02	-1.71E-01	1.30E-01
1.71E-02	-1.77E+00	3.52E-02	-1.71E-01	1.35E-01
1.76E-02	-1.76E+00	3.67E-02	-1.71E-01	1.41E-01
1.80E-02	-1.75E+00	3.82E-02	-1.71E-01	1.47E-01
1.84E-02	-1.73E+00	3.98E-02	-1.71E-01	1.52E-01
1.89E-02	-1.72E+00	4.13E-02	-1.71E-01	1.57E-01
1.94E-02	-1.71E+00	4.27E-02	-1.71E-01	1.63E-01
1.98E-02	-1.70E+00	4.42E-02	-1.71E-01	1.68E-01
2.03E-02	-1.69E+00	4.57E-02	-1.71E-01	1.73E-01
2.08E-02	-1.68E+00	4.72E-02	-1.71E-01	1.78E-01
2.13E-02	-1.67E+00	4.86E-02	-1.71E-01	1.84E-01
2.19E-02	-1.66E+00	5.01E-02	-1.71E-01	1.89E-01
2.24E-02	-1.65E+00	5.15E-02	-1.71E-01	1.94E-01
2.30E-02	-1.64E+00	5.30E-02	-1.71E-01	1.99E-01
2.35E-02	-1.63E+00	5.44E-02	-1.71E-01	2.04E-01
2.41E-02	-1.62E+00	5.58E-02	-1.71E-01	2.08E-01
2.47E-02	-1.61E+00	5.72E-02	-1.71E-01	2.13E-01
2.53E-02	-1.60E+00	5.87E-02	-1.71E-01	2.18E-01
2.60E-02	-1.59E+00	6.01E-02	-1.71E-01	2.23E-01
2.66E-02	-1.58E+00	6.14E-02	-1.71E-01	2.27E-01
2.73E-02	-1.56E+00	6.28E-02	-1.71E-01	2.32E-01
2.79E-02	-1.55E+00	6.42E-02	-1.71E-01	2.37E-01
2.86E-02	-1.54E+00	6.56E-02	-1.71E-01	2.41E-01
2.93E-02	-1.53E+00	6.69E-02	-1.71E-01	2.46E-01
3.01E-02	-1.52E+00	6.83E-02	-1.71E-01	2.50E-01
3.08E-02	-1.51E+00	6.96E-02	-1.71E-01	2.55E-01
3.16E-02	-1.50E+00	7.10E-02	-1.71E-01	2.59E-01
3.24E-02	-1.49E+00	7.23E-02	-1.71E-01	2.63E-01
3.32E-02	-1.48E+00	7.36E-02	-1.71E-01	2.68E-01
3.40E-02	-1.47E+00	7.49E-02	-1.71E-01	2.72E-01
3.48E-02	-1.46E+00	7.62E-02	-1.71E-01	2.76E-01
3.57E-02	-1.45E+00	7.75E-02	-1.71E-01	2.80E-01
3.66E-02	-1.44E+00	7.88E-02	-1.71E-01	2.84E-01
3.75E-02	-1.43E+00	8.01E-02	-1.71E-01	2.88E-01
3.84E-02	-1.42E+00	8.14E-02	-1.71E-01	2.92E-01
3.93E-02	-1.41E+00	8.26E-02	-1.71E-01	2.96E-01
4.03E-02	-1.39E+00	8.39E-02	-1.71E-01	3.00E-01
4.13E-02	-1.38E+00	8.51E-02	-1.71E-01	3.04E-01
4.23E-02	-1.37E+00	8.64E-02	-1.71E-01	3.08E-01

4.34E-02	-1.36E+00	8.76E-02	-1.71E-01	3.11E-01
4.45E-02	-1.35E+00	8.88E-02	-1.71E-01	3.15E-01
4.56E-02	-1.34E+00	9.00E-02	-1.71E-01	3.19E-01
4.67E-02	-1.33E+00	9.12E-02	-1.71E-01	3.22E-01
4.79E-02	-1.32E+00	9.24E-02	-1.71E-01	3.26E-01
4.90E-02	-1.31E+00	9.36E-02	-1.71E-01	3.29E-01
5.03E-02	-1.30E+00	9.48E-02	-1.71E-01	3.33E-01
5.15E-02	-1.29E+00	9.59E-02	-1.71E-01	3.36E-01
5.28E-02	-1.28E+00	9.71E-02	-1.71E-01	3.40E-01
5.41E-02	-1.27E+00	9.83E-02	-1.71E-01	3.43E-01
5.54E-02	-1.26E+00	9.94E-02	-1.71E-01	3.46E-01
5.68E-02	-1.25E+00	1.01E-01	-1.71E-01	3.50E-01
5.82E-02	-1.24E+00	1.02E-01	-1.71E-01	3.53E-01
5.96E-02	-1.22E+00	1.03E-01	-1.71E-01	3.56E-01
6.11E-02	-1.21E+00	1.04E-01	-1.71E-01	3.59E-01
6.26E-02	-1.20E+00	1.05E-01	-1.71E-01	3.62E-01
6.42E-02	-1.19E+00	1.06E-01	-1.71E-01	3.65E-01
6.58E-02	-1.18E+00	1.07E-01	-1.71E-01	3.68E-01
6.74E-02	-1.17E+00	1.08E-01	-1.71E-01	3.71E-01
6.91E-02	-1.16E+00	1.09E-01	-1.71E-01	3.74E-01
7.08E-02	-1.15E+00	1.10E-01	-1.71E-01	3.77E-01
7.25E-02	-1.14E+00	1.11E-01	-1.71E-01	3.80E-01
7.43E-02	-1.13E+00	1.12E-01	-1.71E-01	3.83E-01
7.62E-02	-1.12E+00	1.13E-01	-1.71E-01	3.86E-01
7.80E-02	-1.11E+00	1.14E-01	-1.71E-01	3.88E-01
8.00E-02	-1.10E+00	1.15E-01	-1.71E-01	3.91E-01
8.20E-02	-1.09E+00	1.16E-01	-1.71E-01	3.94E-01
8.40E-02	-1.08E+00	1.17E-01	-1.71E-01	3.96E-01
8.61E-02	-1.07E+00	1.18E-01	-1.71E-01	3.99E-01
8.82E-02	-1.05E+00	1.19E-01	-1.71E-01	4.00E-01
9.04E-02	-1.04E+00	1.20E-01	-1.71E-01	4.00E-01
9.26E-02	-1.03E+00	1.21E-01	-1.71E-01	4.00E-01
9.49E-02	-1.02E+00	1.22E-01	-1.71E-01	4.00E-01
9.73E-02	-1.01E+00	1.23E-01	-1.71E-01	4.00E-01
9.97E-02	-1.00E+00	1.24E-01	-1.71E-01	4.00E-01
1.02E-01	-9.91E-01	1.25E-01	-1.71E-01	4.00E-01
1.05E-01	-9.80E-01	1.26E-01	-1.71E-01	4.00E-01
1.07E-01	-9.70E-01	1.27E-01	-1.71E-01	4.00E-01
1.10E-01	-9.59E-01	1.28E-01	-1.71E-01	4.00E-01
1.13E-01	-9.48E-01	1.28E-01	-1.71E-01	4.00E-01
0.115433	-0.937669	0.129224	-0.171036	0.399915

0.118292	-0.927046	0.130067	-0.171036	0.399915
0.121221	-0.916423	0.1309	-0.171036	0.399915
0.124223	-0.905799	0.131722	-0.171036	0.399915
0.127299	-0.895176	0.132535	-0.171036	0.399915
0.130451	-0.884553	0.133337	-0.171036	0.399915
0.133681	-0.87393	0.134129	-0.171036	0.399915
0.136992	-0.863306	0.13491	-0.171036	0.399915
0.140384	-0.852683	0.135681	-0.171036	0.399915
0.14386	-0.84206	0.136442	-0.171036	0.399915
0.147422	-0.831436	0.137192	-0.171036	0.399915
0.151073	-0.820813	0.137932	-0.171036	0.399915
0.154814	-0.81019	0.138661	-0.171036	0.399915
0.158648	-0.799566	0.13938	-0.171036	0.399915
0.162576	-0.788943	0.140087	-0.171036	0.399915
0.166602	-0.77832	0.140785	-0.171036	0.399915
0.170728	-0.767696	0.141471	-0.171036	0.399915
0.174955	-0.757073	0.142147	-0.171036	0.399915
0.179288	-0.74645	0.142812	-0.171036	0.399915
0.183727	-0.735827	0.143467	-0.171036	0.399915
0.188277	-0.725203	0.14411	-0.171036	0.399915
0.192939	-0.71458	0.144743	-0.171036	0.399915
0.197717	-0.703957	0.145364	-0.171036	0.399915
0.202613	-0.693333	0.145975	-0.171036	0.399915
0.20763	-0.68271	0.146575	-0.171036	0.399915
0.212771	-0.672087	0.147163	-0.171036	0.399915
0.21804	-0.661463	0.147741	-0.171036	0.399915
0.223439	-0.65084	0.148307	-0.171036	0.399915
0.228972	-0.640217	0.148863	-0.171036	0.399915
0.234642	-0.629593	0.149407	-0.171036	0.399915
0.240453	-0.61897	0.14994	-0.171036	0.399915
0.246407	-0.608347	0.150462	-0.171036	0.399915
0.252509	-0.597724	0.150972	-0.171036	0.399915
0.258762	-0.5871	0.151471	-0.171036	0.399915
0.265169	-0.576477	0.151959	-0.171036	0.399915
0.271735	-0.565854	0.152435	-0.171036	0.399915
0.278464	-0.55523	0.1529	-0.171036	0.399915
0.28536	-0.544607	0.153353	-0.171036	0.399915
0.292426	-0.533984	0.153795	-0.171036	0.399915
0.299667	-0.52336	0.154226	-0.171036	0.399915
0.307088	-0.512737	0.154644	-0.171036	0.399915
0.314692	-0.502114	0.155051	-0.171036	0.399915

0.322485	-0.49149	0.155447	-0.171036	0.399915
0.330471	-0.480867	0.155831	-0.171036	0.399915
0.338654	-0.470244	0.156203	-0.171036	0.399915
0.34704	-0.459621	0.156563	-0.171036	0.399915
0.355634	-0.448997	0.156911	-0.171036	0.399915
0.36444	-0.438374	0.157248	-0.171036	0.399915
0.373465	-0.427751	0.157572	-0.171036	0.399915
0.382713	-0.417127	0.157885	-0.171036	0.399915
0.39219	-0.406504	0.158186	-0.171036	0.399915
0.401901	-0.395881	0.158475	-0.171036	0.399915
0.411853	-0.385257	0.158751	-0.171036	0.399915
0.422052	-0.374634	0.159016	-0.171036	0.399915
0.432503	-0.364011	0.159268	-0.171036	0.399915
0.443213	-0.353387	0.159509	-0.171036	0.399915
0.454188	-0.342764	0.159737	-0.171036	0.399915
0.465435	-0.332141	0.159953	-0.171036	0.399915
0.476961	-0.321518	0.160157	-0.171036	0.399915
0.488771	-0.310894	0.160348	-0.171036	0.399915
0.500875	-0.300271	0.160527	-0.171036	0.399915
0.513278	-0.289648	0.160694	-0.171036	0.399915
0.525988	-0.279024	0.160848	-0.171036	0.399915
0.539013	-0.268401	0.16099	-0.171036	0.399915
0.55236	-0.257778	0.161119	-0.171036	0.399915
0.566038	-0.247154	0.161236	-0.171036	0.399915
0.580055	-0.236531	0.16134	-0.171036	0.399915
0.594418	-0.225908	0.161431	-0.171036	0.399915
0.609138	-0.215285	0.16151	-0.171036	0.399915
0.624222	-0.204661	0.161577	-0.171036	0.399915
0.639679	-0.194038	0.161632	-0.171017	0.399915
0.655519	-0.183415	0.161683	-0.170905	0.399915
0.671752	-0.172791	0.161731	-0.170694	0.399915
0.688386	-0.162168	0.161776	-0.170386	0.399915
0.705432	-0.151545	0.161818	-0.16998	0.399915
0.722901	-0.140921	0.161857	-0.169477	0.399915
0.740802	-0.130298	0.161893	-0.16888	0.399915
0.759146	-0.119675	0.161927	-0.168187	0.399915
0.777944	-0.109051	0.161959	-0.1674	0.399915
0.797208	-0.0984281	0.161988	-0.16652	0.399915
0.816949	-0.0878048	0.162016	-0.165548	0.399915
0.837179	-0.0771815	0.162041	-0.164484	0.399915
0.85791	-0.0665582	0.162065	-0.16333	0.399915

0.879154	-0.0559349	0.162088	-0.162085	0.399915
0.900924	-0.0453116	0.16211	-0.160752	0.399915
0.923234	-0.0346883	0.16213	-0.159329	0.399915
0.946096	-0.024065	0.162149	-0.15782	0.399915
0.969523	-0.0134417	0.162168	-0.156224	0.399915
0.993531	-0.00281839	0.162186	-0.154541	0.399915
1.01813	0.00780492	0.162204	-0.152774	0.399915
1.04335	0.0184282	0.162221	-0.150922	0.399915
1.06918	0.0290515	0.162238	-0.148987	0.399915
1.09566	0.0396748	0.162256	-0.146968	0.399915
1.12279	0.0502981	0.162273	-0.144868	0.399915
1.15059	0.0609215	0.162291	-0.142687	0.399915
1.17908	0.0715448	0.16231	-0.140426	0.399915
1.20828	0.0821681	0.162329	-0.138085	0.399915
1.2382	0.0927914	0.162349	-0.135665	0.399915
1.26886	0.103415	0.162371	-0.133338	0.399915
1.30028	0.114038	0.162393	-0.133338	0.399915
1.33248	0.124661	0.162418	-0.133338	0.399915
1.36548	0.135285	0.162443	-0.133338	0.399915
1.39929	0.145908	0.162471	-0.133338	0.399915
1.43394	0.156531	0.1625	-0.133338	0.399915
1.46945	0.167155	0.162532	-0.133338	0.399915
1.50584	0.177778	0.162566	-0.133338	0.399915
1.54313	0.188401	0.162602	-0.133338	0.399915
1.58134	0.199024	0.162641	-0.133338	0.399915
1.6205	0.209648	0.162683	-0.133338	0.399915
1.66062	0.220271	0.162727	-0.133338	0.399915
1.70174	0.230894	0.162775	-0.133338	0.399915
1.74388	0.241518	0.162826	-0.133338	0.399915
1.78707	0.252141	0.162881	-0.133338	0.399915
1.83132	0.262764	0.162939	-0.133338	0.399915
1.87667	0.273388	0.163001	-0.133338	0.399915
1.92314	0.284011	0.163067	-0.133338	0.399915
1.97076	0.294634	0.163137	-0.133338	0.399915
2.01956	0.305258	0.163364	-0.133338	0.400016
2.06957	0.315881	0.16513	-0.133338	0.401651
2.12082	0.326504	0.16867	-0.133338	0.405002
2.17334	0.337127	0.173866	-0.133338	0.409955
2.22716	0.347751	0.180598	-0.133338	0.416397
2.28231	0.358374	0.188747	-0.133338	0.424212
2.33882	0.368997	0.198193	-0.133338	0.433288

2.39674	0.379621	0.208816	-0.133338	0.443508
2.45609	0.390244	0.220498	-0.133338	0.454759
2.51691	0.400867	0.233119	-0.133338	0.466927
2.57923	0.411491	0.24656	-0.133338	0.479898
2.6431	0.422114	0.2607	-0.133338	0.493556
2.70855	0.432737	0.275422	-0.133338	0.507788
2.77562	0.44336	0.290604	-0.133338	0.52248
2.84435	0.453984	0.306129	-0.133338	0.537517
2.91479	0.464607	0.321876	-0.133338	0.552785
2.98697	0.47523	0.337725	-0.133338	0.568169
3.06093	0.485854	0.353559	-0.133338	0.583555
3.13673	0.496477	0.369256	-0.133338	0.598829
3.2144	0.5071	0.384699	-0.133338	0.613877
3.294	0.517724	0.399766	-0.133338	0.628585
3.37557	0.528347	0.414339	-0.133338	0.642837
3.45916	0.53897	0.428299	-0.133338	0.65652
3.54481	0.549594	0.441526	-0.133338	0.669519
3.63259	0.560217	0.453987	-0.133338	0.681806
3.72255	0.57084	0.466515	-0.133338	0.694206
3.81473	0.581463	0.479319	-0.133338	0.706923
3.90919	0.592087	0.49236	-0.133338	0.719915
4.00599	0.60271	0.505599	-0.133338	0.733138
4.10519	0.613333	0.518997	-0.133338	0.746551
4.20685	0.623957	0.532515	-0.133338	0.760111
4.31102	0.63458	0.546113	-0.133338	0.773776
4.41777	0.645203	0.559752	-0.133338	0.787503
4.52717	0.655827	0.573394	-0.133338	0.801251
4.63927	0.66645	0.587	-0.133338	0.814976
4.75415	0.677073	0.600529	-0.133338	0.828637
4.87188	0.687697	0.613944	-0.133338	0.842191
4.99252	0.69832	0.627205	-0.133338	0.855596
5.11615	0.708943	0.640273	-0.133338	0.868809
5.24284	0.719566	0.653109	-0.133338	0.881788
5.37266	0.73019	0.665674	-0.133338	0.894491
5.50571	0.740813	0.677928	-0.133338	0.906875
5.64204	0.751436	0.689834	-0.133338	0.918898
5.78175	0.76206	0.701351	-0.133338	0.930518
5.92493	0.772683	0.71244	-0.133338	0.941692
6.07164	0.783306	0.723063	-0.133338	0.952378
6.22199	0.79393	0.73318	-0.133338	0.962533
6.37607	0.804553	0.742821	-0.133338	0.972186

6.53396	0.815176	0.752379	-0.133338	0.981743
6.69575	0.8258	0.761906	-0.133338	0.991259
6.86156	0.836423	0.771384	-0.133338	1
7.03147	0.847046	0.780792	-0.133338	1
7.20559	0.857669	0.790111	-0.133338	1
7.38402	0.868293	0.799321	-0.133338	1
7.56687	0.878916	0.808402	-0.133338	1
7.75424	0.889539	0.817335	-0.133338	1
7.94626	0.900163	0.826099	-0.133338	1
8.14303	0.910786	0.834676	-0.133338	1
8.34467	0.921409	0.843045	-0.133338	1
8.55131	0.932033	0.851186	-0.133338	1
8.76306	0.942656	0.859081	-0.133338	1
8.98006	0.953279	0.866709	-0.133338	1
9.20243	0.963903	0.87405	-0.133338	1
9.43031	0.974526	0.881084	-0.133338	1
9.66383	0.985149	0.887793	-0.133338	1
9.90313	0.995772	0.894156	-0.133338	1
10.1484	1.0064	0.900154	-0.133338	1
10.3997	1.01702	0.905767	-0.133338	1
10.6572	1.02764	0.910974	-0.133338	1
10.9211	1.03827	0.915757	-0.133338	1
11.1915	1.04889	0.920096	-0.133338	1
11.4686	1.05951	0.924042	-0.133338	1
11.7526	1.07014	0.927869	-0.133338	1
12.0437	1.08076	0.931606	-0.133338	1
12.3419	1.09138	0.935247	-0.133338	1
12.6475	1.10201	0.938791	-0.133338	1
12.9607	1.11263	0.942235	-0.133338	1
13.2817	1.12325	0.945576	-0.133338	1
13.6105	1.13388	0.94881	-0.133338	1
13.9476	1.1445	0.951934	-0.133338	1
14.293	1.15512	0.954946	-0.133338	1
14.6469	1.16575	0.957843	-0.133338	1
15.0096	1.17637	0.960621	-0.133338	1
15.3813	1.18699	0.963278	-0.133338	1
15.7621	1.19762	0.965811	-0.133338	1
16.1525	1.20824	0.968216	-0.133338	1
16.5524	1.21886	0.970491	-0.133338	1
16.9623	1.22949	0.972633	-0.133338	1
17.3823	1.24011	0.974639	-0.133338	1

17.8128	1.25073	0.976505	-0.133338	1
18.2539	1.26136	0.978229	-0.133338	1
18.7059	1.27198	0.979807	-0.133338	1
19.1691	1.2826	0.981237	-0.133338	1
19.6438	1.29323	0.982517	-0.133338	1
20.1302	1.30385	0.983647	-0.133338	1
20.6287	1.31447	0.984726	-0.133338	1
21.1395	1.32509	0.985791	-0.133338	1
21.663	1.33572	0.986838	-0.133338	1
22.1994	1.34634	0.987866	-0.133338	1
22.7491	1.35696	0.98887	-0.133338	1
23.3125	1.36759	0.989849	-0.133338	1
23.8897	1.37821	0.990798	-0.133338	1
24.4813	1.38883	0.991717	-0.133338	1
25.0875	1.39946	0.9926	-0.133338	1
25.7088	1.41008	0.993447	-0.133338	1
26.3454	1.4207	0.994253	-0.133338	1
26.9978	1.43133	0.995016	-0.133338	1
27.6663	1.44195	0.995733	-0.133338	1
28.3514	1.45257	0.996401	-0.133338	1
29.0535	1.4632	0.997018	-0.133338	1
29.7729	1.47382	0.99758	-0.133338	1
30.5102	1.48444	0.998084	-0.133338	1
31.2657	1.49507	0.998528	-0.133338	1
32.0399	1.50569	0.998909	-0.133338	1
32.8333	1.51631	0.999224	-0.133338	1
33.6463	1.52694	0.999469	-0.133338	1
34.4795	1.53756	0.999643	-0.133338	1
35.3333	1.54818	0.999743	-0.133338	1
36.2083	1.55881	0.999767	-0.133338	1
37.1049	1.56943	0.999768	-0.133338	1
38.0237	1.58005	0.999768	-0.133338	1
38.9653	1.59068	0.999769	-0.133338	1
39.9301	1.6013	0.999769	-0.133338	1
40.9189	1.61192	0.99977	-0.133338	1
41.9322	1.62255	0.99977	-0.133338	1
42.9705	1.63317	0.999771	-0.133338	1
44.0346	1.64379	0.999771	-0.133338	1
45.125	1.65442	0.999771	-0.133338	1
46.2424	1.66504	0.999771	-0.133338	1
47.3875	1.67566	0.999772	-0.133338	1

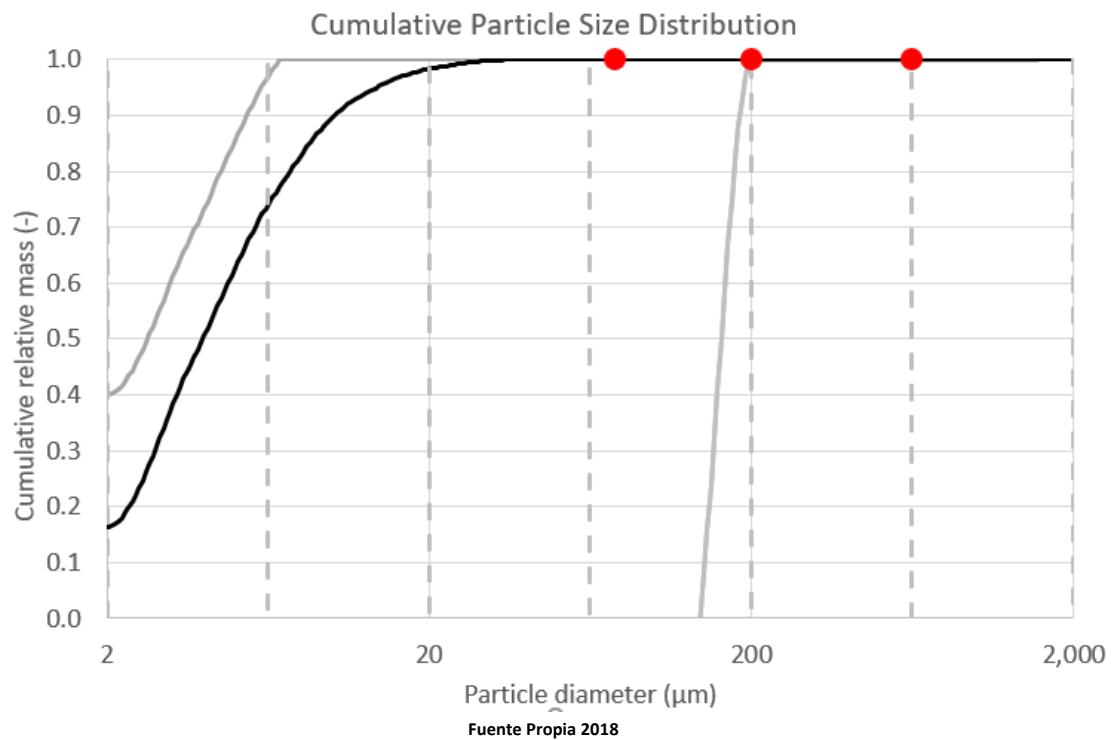
48.561	1.68629	0.999772	-0.133338	1
49.7635	1.69691	0.999772	-0.133338	1
50.9957	1.70753	0.999772	-0.133338	1
52.2585	1.71816	0.999773	-0.133338	1
53.5526	1.72878	0.999773	-0.133338	1
54.8787	1.7394	0.999773	-0.133338	1
56.2377	1.75003	0.999774	-0.133338	1
57.6302	1.76065	0.999774	-0.133338	1
59.0573	1.77127	0.999775	-0.133338	1
60.5197	1.7819	0.999775	-0.133338	1
62.0184	1.79252	0.999776	-0.133338	1
63.5541	1.80314	0.999777	-0.133338	1
65.1279	1.81377	0.999778	-0.133338	1
66.7406	1.82439	0.999781	-0.133338	1
68.3933	1.83501	0.999784	-0.133338	1
70.0869	1.84564	0.999788	-0.133338	1
71.8225	1.85626	0.999793	-0.133338	1
73.601	1.86688	0.999799	-0.133338	1
75.4235	1.87751	0.999805	-0.133338	1
77.2912	1.88813	0.999811	-0.133338	1
79.2052	1.89875	0.999818	-0.133338	1
81.1665	1.90938	0.999826	-0.133338	1
83.1764	1.92	0.999834	-0.133338	1
85.2361	1.93062	0.999841	-0.133338	1
87.3467	1.94125	0.99985	-0.133338	1
89.5097	1.95187	0.999858	-0.133338	1
91.7262	1.96249	0.999866	-0.133338	1
93.9976	1.97312	0.999874	-0.133338	1
96.3252	1.98374	0.999883	-0.133338	1
98.7105	1.99436	0.999891	-0.133338	1
101.155	2.00499	0.999899	-0.133338	1
103.66	2.01561	0.999906	-0.133338	1
106.227	2.02623	0.999913	-0.133338	1
108.857	2.03686	0.99992	-0.133338	1
111.553	2.04748	0.999927	-0.133338	1
114.315	2.0581	0.999932	-0.133338	1
117.146	2.06873	0.999938	-0.133338	1
120.047	2.07935	0.999942	-0.133338	1
123.019	2.08997	0.999946	-0.133338	1
126.066	2.1006	0.999949	-0.133338	1
129.187	2.11122	0.999952	-0.11851	1

132.386	2.12184	0.999955	-0.0878521	1
135.664	2.13247	0.999958	-0.0432799	1
139.024	2.14309	0.99996	0.0132899	1
142.467	2.15371	0.999963	0.0799407	1
145.994	2.16434	0.999966	0.154756	1
149.61	2.17496	0.999968	0.23582	1
153.314	2.18558	0.999971	0.321215	1
157.111	2.19621	0.999973	0.409025	1
161.001	2.20683	0.999975	0.497334	1
164.988	2.21745	0.999977	0.584225	1
169.074	2.22808	0.999979	0.667781	1
173.26	2.2387	0.99998	0.746087	1
177.551	2.24932	0.999982	0.817225	1
181.947	2.25995	0.999983	0.87928	1
186.453	2.27057	0.999984	0.930335	1
191.07	2.28119	0.999985	0.968472	1
195.801	2.29182	0.999985	0.991777	1
200.65	2.30244	0.999985	0.998494	1
205.619	2.31306	0.999985	0.998494	1
210.71	2.32369	0.999985	0.998494	1
215.928	2.33431	0.999986	0.998494	1
221.275	2.34493	0.999986	0.998494	1
226.754	2.35556	0.999986	0.998494	1
232.369	2.36618	0.999986	0.998494	1
238.124	2.3768	0.999986	0.998494	1
244.02	2.38743	0.999986	0.998494	1
250.063	2.39805	0.999986	0.998494	1
256.255	2.40867	0.999986	0.998494	1
262.6	2.4193	0.999986	0.998494	1
269.103	2.42992	0.999986	0.998494	1
275.767	2.44054	0.999986	0.998494	1
282.596	2.45117	0.999986	0.998494	1
289.593	2.46179	0.999986	0.998494	1
296.765	2.47241	0.999986	0.998494	1
304.113	2.48304	0.999986	0.998494	1
311.644	2.49366	0.999986	0.998494	1
319.361	2.50428	0.999986	0.998494	1
327.269	2.51491	0.999986	0.998494	1
335.373	2.52553	0.999986	0.998494	1
343.678	2.53615	0.999986	0.998494	1
352.188	2.54678	0.999986	0.998494	1

360.91	2.5574	0.999986	0.998494	1
369.847	2.56802	0.999986	0.998494	1
379.005	2.57865	0.999986	0.998494	1
388.39	2.58927	0.999986	0.998494	1
398.008	2.59989	0.999986	0.998494	1
407.864	2.61052	0.999986	0.998495	1
417.963	2.62114	0.999986	0.998495	1
428.313	2.63176	0.999986	0.998495	1
438.92	2.64238	0.999986	0.998495	1
449.788	2.65301	0.999986	0.998495	1
460.926	2.66363	0.999986	0.998495	1
472.34	2.67425	0.999986	0.998495	1
484.037	2.68488	0.999986	0.998495	1
496.023	2.6955	0.999986	0.998495	1
508.305	2.70612	0.999986	0.998495	1
520.892	2.71675	0.999986	0.998495	1
533.791	2.72737	0.999986	0.998495	1
547.009	2.73799	0.999986	0.998495	1
560.555	2.74862	0.999986	0.998495	1
574.436	2.75924	0.999986	0.998495	1
588.66	2.76986	0.999986	0.998495	1
603.237	2.78049	0.999986	0.998495	1
618.175	2.79111	0.999986	0.998495	1
633.482	2.80173	0.999986	0.998495	1
649.169	2.81236	0.999986	0.998496	1
665.244	2.82298	0.999987	0.9985	1
681.717	2.8336	0.999987	0.998505	1
698.599	2.84423	0.999987	0.998513	1
715.898	2.85485	0.999987	0.998522	1
733.625	2.86547	0.999987	0.998533	1
751.792	2.8761	0.999987	0.998545	1
770.408	2.88672	0.999987	0.99856	1
789.486	2.89734	0.999987	0.998576	1
809.036	2.90797	0.999988	0.998593	1
829.069	2.91859	0.999988	0.998613	1
849.599	2.92921	0.999988	0.998633	1
870.638	2.93984	0.999988	0.998656	1
892.197	2.95046	0.999988	0.998679	1
914.29	2.96108	0.999989	0.998705	1
936.931	2.97171	0.999989	0.998731	1
960.132	2.98233	0.999989	0.998759	1

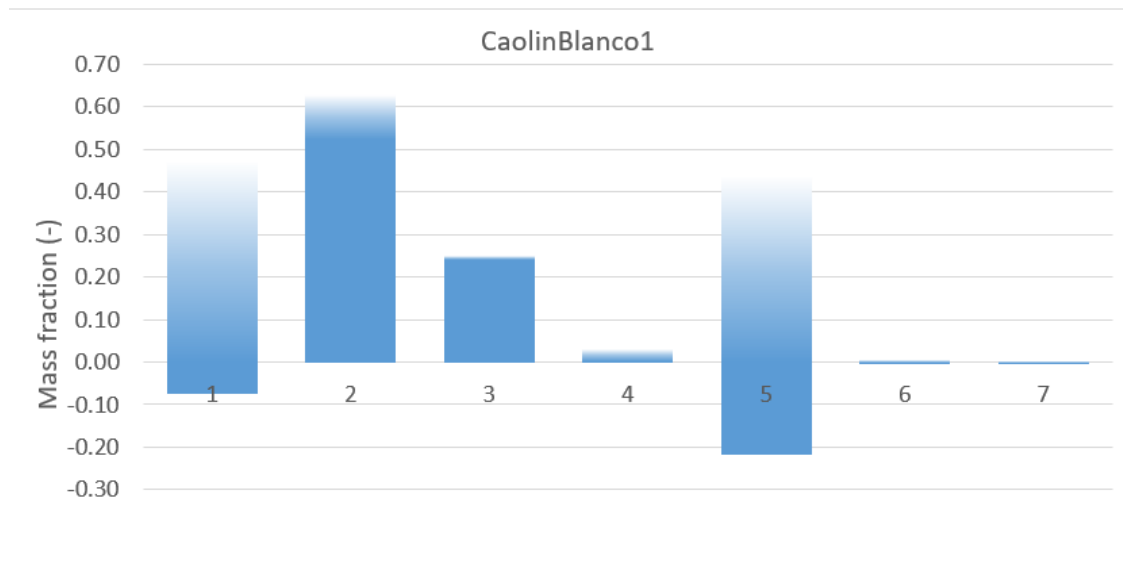
983.907	2.99295	0.999989	0.998788	1
1008.27	3.00358	0.99999	0.998818	1
1033.24	3.0142	0.99999	0.99885	1
1058.82	3.02482	0.99999	0.998883	1
1085.04	3.03545	0.999991	0.998917	1
1111.91	3.04607	0.999991	0.998951	1
1139.45	3.05669	0.999991	0.998987	1
1167.66	3.06732	0.999991	0.999024	1
1196.58	3.07794	0.999992	0.999062	1
1226.21	3.08856	0.999992	0.999101	1
1256.57	3.09919	0.999992	0.999141	1
1287.69	3.10981	0.999993	0.999181	1
1319.57	3.12043	0.999993	0.999222	1
1352.25	3.13106	0.999994	0.999264	1
1385.74	3.14168	0.999994	0.999307	1
1420.05	3.1523	0.999994	0.99935	1
1455.21	3.16293	0.999995	0.999394	1
1491.25	3.17355	0.999995	0.999438	1
1528.18	3.18417	0.999995	0.999483	1
1566.02	3.1948	0.999996	0.999529	1
1604.8	3.20542	0.999996	0.999575	1
1644.54	3.21604	0.999997	0.999621	1
1685.26	3.22667	0.999997	0.999668	1
1726.99	3.23729	0.999997	0.999715	1
1769.76	3.24791	0.999998	0.999762	1
1813.58	3.25854	0.999998	0.999809	1
1858.49	3.26916	0.999999	0.999857	1
1904.51	3.27978	0.999999	0.999904	1
1951.67	3.29041	1	0.999952	1
2000	3.30103	1	1	1

Fuente Propia 2018

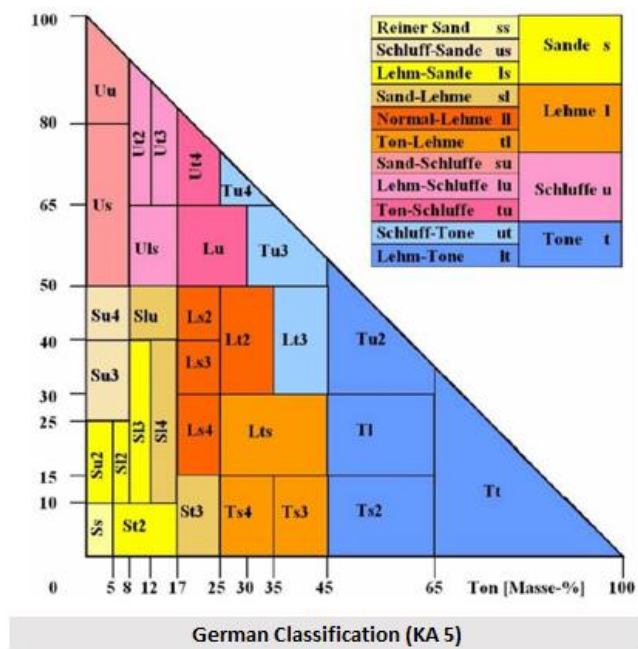


METER PARIO Control - Version 0.6.3					
Sample name		CaolinBlanco1			
FRACTION	DP[mum]	MAX-LIKELI	P2.5	P97.5	P97.5-P2.5
CLAY	<2.0	16.3%	-7.4%	40.0%	47.3%
FINE-SILT	2.0-6.3	57.5%	52.2%	62.8%	10.6%
MIDDLE-SILT	43896	24.5%	24.1%	25.0%	0.9%
COARSE-SILT	20-63	1.6%	0.2%	3.1%	2.8%
FINE-SAND	63-200	0.0%	-21.9%	21.9%	43.8%
MIDDLE-SAND	200-630	0.0%	-0.2%	0.2%	0.4%
COARSE-SAND	630-2000	0.0%	-0.1%	0.2%	0.3%
CLAY	<2.0	16.3%	-7.4%	40.0%	
SILT	2.0-63	83.7%	78.2%	89.1%	
SAND	63-2000	0.0%	-21.9%	21.9%	
Clay	< 2.0	16.3%			
Silt	2.0 - 63.0	83.7%			
Sand	63.0 -- 2000	0.0%			
Soil texture		German classification (KA 5)			
		US soil taconomy			

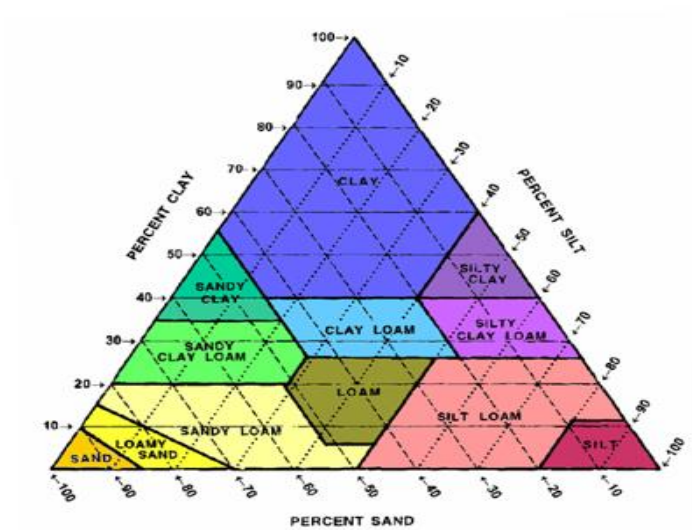
Fuente propia 2018



Fuente Propia 2018



Fuente Propia 2018



US Soil Taxonomy

Fuente Propia 2018